

**UNIVERZITA KARLOVA**  
**Přírodovědecká fakulta**  
**Katedra fyzické geografie a geoekologie**

Studijní program: Geografie  
Studijní obor: Geografie a kartografie



Ondřej Kladna

**SVĚTELNÉ ZNEČIŠTĚNÍ Kladenska**

LIGHT POLLUTION OF THE Kladno REGION

*Bakalářská práce*

Vedoucí práce: RNDr. Tomáš Matějček, Ph. D.

Praha, 2019

## **Zadání bakalářské práce**

### **Název práce:**

Světelné znečištění Kladenska

### **Cíle práce:**

Cílem práce je zpracovat literární rešerši týkající se problematiky světelného znečištění. Na několika stanovištích provést terénní měření a zjistit hodnoty jasů noční oblohy, poté na základě získaných dat posoudit, zda má les jako krajinná složka vliv na šíření světelného znečištění.

### **Použité pracovní metody, zájmové území a interpretace výsledků:**

- rešerše odborné literatury a zdrojů souvisejících s problematikou,
- terénní měření s použitím jasoměru SQM-L,
- blízké okolí města Kladna,
- porovnání získaných hodnot jasů noční oblohy,
- prezentace výsledků ve formě směrových grafů a mapových výstupů.

Datum zadání: 20. 12. 2018

Student: Ondřej Klauda

.....

podpis

Vedoucí práce: RNDr. Tomáš Matějček, Ph. D.

.....

podpis

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci zpracoval samostatně, na základě použité literatury a podkladů uvedených v Seznamu zdrojů a z vlastnoručně provedeného měření. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 6. 5. 2019

.....

Ondřej Klauda

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce RNDr. Tomáši Matějčkovi, Ph. D. za cenné připomínky při zpracování bakalářské práce a za zapůjčení jasoměru Sky Quality Meter. Dále bych chtěl poděkovat Českému úřadu zeměměřičskému a katastrálnímu za zapůjčení Digitálního modelu povrchu. Poděkování patří také mé rodině za podporu při studiu a pomoc při terénních měřeních.

## **Abstrakt**

Světelné znečištění je enviromentální problém způsobený nadužíváním umělého světla v nočních hodinách. Světelné znečištění zasahuje především hustě osídlené oblasti a průmyslové regiony. Kromě rozjasnění noční oblohy způsobuje světelné znečištění také diskomfort a má negativní zdravotní a enviromentální dopady. Literární rešerše bakalářské práce pojednává ve třech kapitolách o světle, světelném znečištění a zájmovém území. Praktická část zkoumá interakci krajiny a světelného znečištění. Na základě terénních měření jasoměrem Sky Quality Meter v blízkém okolí města Kladna je posuzován vliv lesa na šíření světelného znečištění. Pracovní hypotéza předpokládá bariérový efekt lesa. Výsledek hypotézu bezpečně nepotvrzuje, nicméně se projevil vliv Prahy na jas noční oblohy.

**Klíčová slova:** světelné znečištění, jas noční oblohy, bariérový efekt lesa, Sky Quality Meter, Kladensko

## **Abstract**

Light pollution is an environmental problem caused by overuse of artificial light at night. Light pollution mainly affects densely populated areas and industrial regions. In addition to night sky brightening, light pollution also causes discomfort and has negative health and environmental impacts. The literature review of this bachelor thesis deals with light, light pollution and the study area in three chapters. The aim of the practical part is examination of interaction of landscape and light pollution. On the basis of field measurements by the Sky Quality Meter in the surroundings of Kladno, the effect of forest on propagation of light pollution is assessed. The working hypothesis assumes the barrier effect of the forest. The hypothesis is not safely confirmed by the results, nevertheless the influence of Prague on night sky brightness has been shown.

**Keywords:** light pollution, night sky brightness, barrier effect of forest, Sky Quality Meter, Kladno region

# Obsah

Seznam obrázků.....	8
Seznam tabulek.....	11
Seznam použitých zkratk .....12	12
<b>1 Úvod.....</b>	<b>14</b>
<b>2 Cíle práce.....</b>	<b>15</b>
<b>3 Světlo.....</b>	<b>16</b>
3.1 Fyzikální podstata .....	16
3.2 Základní fotometrické veličiny .....	17
3.3 Světlo v atmosféře.....	20
3.4 Světelné zdroje .....	21
3.4.1 Přírodní světelné zdroje .....	21
3.4.2 Umělé světelné zdroje.....	23
<b>4 Světelné znečištění .....</b>	<b>30</b>
4.1 Definice a terminologie.....	30
4.2 Vznik světelného znečištění .....	33
4.3 Vliv přírodních faktorů.....	38
4.4 Modelování.....	41
4.5 Metody kvantifikace.....	44
4.5.1 Pozemní metody.....	44
4.5.2 Distanční metody .....	48
4.6 Rozšíření a vývoj.....	50
4.7 Negativní dopady na živé organismy .....	53
<b>5 Zájmové území.....</b>	<b>58</b>
5.1 Fyzickogeografická charakteristika.....	59
5.2 Sociogeografická charakteristika .....	60
<b>6 Metodika.....</b>	<b>62</b>
6.1 Výroba měřicí aparatury.....	62
6.2 Výběr měřících stanovišť .....	63
6.3 Výběr vhodného termínu pro měření .....	65
6.4 Postup měření na stanovišti.....	66
6.5 Zpracování a interpretace naměřených hodnot .....	67

<b>7</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>69</b>
7.1	Smečno, V Lípách (A) .....	69
7.2	Brandýsek, Důl Michal (B) .....	70
7.3	Tuchlovice, Zápavy (C) .....	72
7.4	Lidice (D) .....	73
7.5	Družec, V Průhonu (E).....	75
7.6	Hostouň, Zabitý (F) .....	76
7.7	Velká Dobrá, Pod Lapákem (G).....	78
7.8	Kladno, Na Cikánce (H).....	79
7.9	Kladno, Sítenské údolí (K).....	81
7.10	Syntéza terénních měření .....	82
<b>8</b>	<b>Diskuse.....</b>	<b>84</b>
<b>9</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>86</b>
<b>10</b>	<b>Seznam zdrojů.....</b>	<b>87</b>
10.1	Literatura .....	87
10.2	Internetové zdroje.....	95
10.3	Data a mapové podklady .....	97
	Seznam příloh .....	98

# Seznam obrázků

<b>Obrázek 1:</b> Schéma elektromagnetické vlny a znázornění jejích základních složek .....	16
<b>Obrázek 2:</b> Vztah vlnové délky, frekvence a barvy světla .....	17
<b>Obrázek 3:</b> Vztah základních fotometrických veličin .....	18
<b>Obrázek 4:</b> Rayleighův zákon, intenzita slunečního záření a důsledek obou faktorů .....	20
<b>Obrázek 5:</b> Rayleighův rozptyl na nekonečně malé částici, Mieův rozptyl na částici průměru 160 nm a 180 nm .....	21
<b>Obrázek 6:</b> Polární záře z Mezinárodní vesmírné stanice .....	22
<b>Obrázek 7:</b> Rozdělení elektrických světelných zdrojů .....	24
<b>Obrázek 8:</b> Schéma klasické žárovky a její vyzařovací spektrum .....	25
<b>Obrázek 9:</b> Závislost světelného toku zářivky na teplotě prostředí a její vyzařovací spektrum .....	26
<b>Obrázek 10:</b> Vysokotlaká rtuťová výbojka a její vyzařovací spektrum .....	26
<b>Obrázek 11:</b> Nízkotlaká sodíková výbojka a její vyzařovací spektrum .....	27
<b>Obrázek 12:</b> Vysokotlaká sodíková výbojka a její vyzařovací spektrum .....	27
<b>Obrázek 13:</b> Halogenidová výbojka a její vyzařovací spektrum .....	28
<b>Obrázek 14:</b> Závislost světelného toku diod červené, modré a žluté barvy na teplotě a vyzařovací spektra dle barvy diody .....	28
<b>Obrázek 15:</b> Světelné znečištění v Evropě v roce 2014 a po přechodu na osvětlení LED diodami .....	29
<b>Obrázek 16:</b> Formy světelného znečištění .....	32
<b>Obrázek 17:</b> Schéma složek sky-down a ground-up přístupů .....	33
<b>Obrázek 18:</b> Přímá a odražená složka světelného toku v horním poloprostoru .....	34
<b>Obrázek 19:</b> Nevhodně řešené pouliční osvětlení lampou typu koule v Lidicích a osvětlení přechodu v Doksech u Kladna .....	35
<b>Obrázek 20:</b> Porovnání osvětlení kaple svatého Floriána v centru Kladna a kaple v Dolanech .....	35
<b>Obrázek 21:</b> Zvýšení jasu způsobené osvětlením sportovního stadionu .....	36
<b>Obrázek 22:</b> Bezpečnostní světla na skladu u Pavlova a sochorové válcovně v Kladně-Dříní září do volné krajiny a způsobují oslnění .....	36
<b>Obrázek 23:</b> Světelné poutače před obchodním centrem Oáza na Kladně a osvětlená reklamní plocha nedaleko náměstí Sítňá .....	37
<b>Obrázek 24:</b> Interiérové osvětlení autosalonu na okraji Kladna a schéma světelného toku v místnosti a šíření světla do horního poloprostoru .....	37



<b>Obrázek 25:</b> Osvětlení na mezinárodním letišti Václava Havla v Praze-Ruzyni.....	<b>38</b>
<b>Obrázek 26:</b> Závislost jasu oblohy na úhlové vzdálenosti pod obzorem .....	<b>39</b>
<b>Obrázek 27:</b> Vztah měsíční fáze a jasu oblohy ve městě a na venkově .....	<b>39</b>
<b>Obrázek 28:</b> Průměrný jas noční oblohy v zenitu a jeho směrodatná odchylka podle výšky základny oblaku .....	<b>40</b>
<b>Obrázek 29:</b> Schéma Garstangova prvního modelu .....	<b>42</b>
<b>Obrázek 30:</b> Schéma odrazu světla dle Lambertova kosinového zákona .....	<b>42</b>
<b>Obrázek 31:</b> Garstangův „standartní model“ šíření světelného znečištění kolem města .....	<b>43</b>
<b>Obrázek 32:</b> Jasoměr SQM-L a spektrální odezva předpokládaná a zjištěná .....	<b>46</b>
<b>Obrázek 33:</b> Lightmeter a ASTMON Lite .....	<b>47</b>
<b>Obrázek 34:</b> Srovnání spektrální odezvy senzorů OLS a VIIRS s filtrem DNB .....	<b>49</b>
<b>Obrázek 35:</b> Srovnání prostorového rozlišení produktů DMSP, Suomi NPP a fotografie pořízené fotoaparátem z ISS na příkladu berlínského letiště Tegel .....	<b>50</b>
<b>Obrázek 36:</b> Současný stav světelného znečištění ve světě .....	<b>51</b>
<b>Obrázek 37:</b> Prostorové změny světelného znečištění v Evropě mezi obdobími 1995–2000 a 2005–2010 .....	<b>52</b>
<b>Obrázek 38:</b> Průměrná zenitová záře na území Česka .....	<b>53</b>
<b>Obrázek 39:</b> Zbarvení listů škumpy orobincové a opožděný spad listů vlivem veřejného osvětlení.....	<b>57</b>
<b>Obrázek 40:</b> Přehledová mapa zájmového území .....	<b>58</b>
<b>Obrázek 41:</b> Měřicí aparatura a její popis .....	<b>63</b>
<b>Obrázek 42:</b> Výškové poměry v okolí Kladna, poloha středu a vybraných měřicích stanovišť .....	<b>65</b>
<b>Obrázek 43:</b> Směrový graf znázorňující jas oblohy v zenitu a zenitových úhlech 30° a 60° na stanovišti Smečno, V Lípách a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění ...	<b>71</b>
<b>Obrázek 44:</b> Směrový graf znázorňující jas oblohy v zenitu a zenitových úhlech 30° a 60° na stanovišti Brandýsek, Důl Michal a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění .....	<b>71</b>
<b>Obrázek 45:</b> Směrový graf znázorňující jas oblohy v zenitu a zenitových úhlech 30° a 60° na stanovišti Tuchlovice, Záplavy a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění	<b>74</b>
<b>Obrázek 46:</b> Směrový graf znázorňující jas oblohy v zenitu a zenitových úhlech 30° a 60° na stanovišti Lidice a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění.....	<b>74</b>
<b>Obrázek 47:</b> Směrový graf znázorňující jas oblohy v zenitu a zenitových úhlech 30° a 60° na stanovišti Družec, V Průhonu a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění ..	<b>77</b>
<b>Obrázek 48:</b> Směrový graf znázorňující jas oblohy v zenitu a zenitových úhlech 30° a 60° na stanovišti Hostouň, Zabítý a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění .....	<b>77</b>

<b>Obrázek 49:</b> Směrový graf znázorňující jas oblohy v zenitu a zenitových úhlech $30^\circ$ a $60^\circ$ na stanovišti Velká Dobrá, Pod Lapákem a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění .....	<b>80</b>
<b>Obrázek 50:</b> Směrový graf znázorňující jas oblohy v zenitu a zenitových úhlech $30^\circ$ a $60^\circ$ na stanovišti Kladno, Na Cikánce a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění .....	<b>80</b>
<b>Obrázek 51:</b> Směrový graf znázorňující jas oblohy v zenitu a zenitovém úhlu $60^\circ$ na stanovišti Kladno, Sítenské údolí a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění .....	<b>81</b>
<b>Obrázek 52:</b> Poloha měřicích stanovišť a průměrný jas oblohy v zenitu.....	<b>83</b>

# Seznam tabulek

<b>Tabulka 1:</b> Vybraná nebeská tělesa a jejich jas v magnitudách .....	<b>19</b>
<b>Tabulka 2:</b> Seznam měřících stanovišť, jejich souřadnice, vzdálenost, azimut a světová strava vzhledem ke středu .....	<b>64</b>
<b>Tabulka 3:</b> Průměrné hodnoty jasu noční oblohy v zenitu a ve směrových měřeních na stanovišti Smečno, V Lípách .....	<b>70</b>
<b>Tabulka 4:</b> Průměrné hodnoty jasu noční oblohy v zenitu a ve směrových měřeních na stanovišti Brandýsek, Důl Michal.....	<b>70</b>
<b>Tabulka 5:</b> Průměrné hodnoty jasu noční oblohy v zenitu a ve směrových měřeních na stanovišti Tuchlovice, Zápavy .....	<b>72</b>
<b>Tabulka 6:</b> Průměrné hodnoty jasu noční oblohy v zenitu a ve směrových měřeních na stanovišti Lidice .....	<b>73</b>
<b>Tabulka 7:</b> Průměrné hodnoty jasu noční oblohy v zenitu a ve směrových měřeních na stanovišti Družec, V Průhonu .....	<b>75</b>
<b>Tabulka 8:</b> Průměrné hodnoty jasu noční oblohy v zenitu a ve směrových měřeních na stanovišti Hostouň, Zabítý .....	<b>76</b>
<b>Tabulka 9:</b> Průměrné hodnoty jasu noční oblohy v zenitu a ve směrových měřeních na stanovišti Velká Dobrá, Pod Lapákem .....	<b>78</b>
<b>Tabulka 10:</b> Průměrné hodnoty jasu noční oblohy v zenitu a ve směrových měřeních na stanovišti Kladno, Na Cikánci .....	<b>79</b>
<b>Tabulka 11:</b> Průměrné hodnoty jasu noční oblohy v zenitu a ve směrových měřeních na stanovišti Kladno, Sítenské údolí .....	<b>81</b>
<b>Tabulka 12:</b> Průměrné hodnoty jasu v zenitu dle stanoviště.....	<b>82</b>
<b>Tabulka 13:</b> Porovnání směrových měření v zenitovém úhlu 60° z párových stanovišť ve směru Kladno .....	<b>83</b>

# Seznam použitých zkratek

ASTMON	All-Sky Transmission <b>M</b> onitor
AU	Astronomical <b>U</b> nit (astronomická jednotka, zhruba 150 milionů km)
ČGS	Česká <b>g</b> eologická společnost
ČMES	Česká <b>m</b> eteorologická společnost
ČSÚ	Český statistický <b>ú</b> řad
ČÚZK	Český <b>ú</b> řad zeměměřičský a katastrální
DMP	<b>D</b> igitální <b>m</b> odel <b>p</b> ovrchu
DMSP	<b>D</b> efense <b>M</b> eteorological <b>S</b> atellite <b>P</b> rogram
DNB	<b>D</b> ay/ <b>N</b> ight <b>B</b> and
EGM	<b>E</b> xtended <b>G</b> arstang <b>M</b> odel
EU	Evropská <b>u</b> nie či European <b>U</b> nion
HCSTC	<b>H</b> ouse of <b>C</b> ommons <b>S</b> cience and <b>T</b> echnology <b>C</b> ommittee
CHKO	<b>C</b> hráněná <b>k</b> rajinná <b>o</b> blast
IDA	<b>I</b> nternational <b>D</b> ark-Sky <b>A</b> ssociaton
IES	<b>I</b> lliminating <b>E</b> ngineering <b>S</b> ociety
IAU	<b>I</b> nternational <b>A</b> stronomical <b>U</b> nion
ISS	<b>I</b> nternational <b>S</b> pace <b>S</b> tation
LED	<b>L</b> ight- <b>e</b> mitting <b>D</b> iode
m n. m.	<b>m</b> etr <b>n</b> ad <b>m</b> ořem
MSA	<b>M</b> agnitude per <b>S</b> quare <b>A</b> rcsecond (mag/arcsec <sup>2</sup> )
NP	<b>N</b> árodní <b>p</b> ark
OLS	<b>O</b> perational <b>L</b> inescan <b>S</b> ystem
OSTN	<b>O</b> dborná skupina pro <b>t</b> mavé <b>n</b> ebe
RCEP	The <b>R</b> oyal <b>C</b> ommiton on <b>E</b> nviromental <b>P</b> ollution
SQM	<b>S</b> ky <b>Q</b> uality <b>M</b> eter

Suomi NPP	<b>Suomi</b> National <b>P</b> olar-orbiting <b>P</b> artnership
USA	<b>U</b> nited <b>S</b> tates of <b>A</b> merica (Spojené státy americké)
UVGZ AV ČR	Ústav výzkumu globální změny Akademie věd České republiky
VIIRS	<b>V</b> isible/ <b>I</b> nfrared <b>I</b> mager/ <b>R</b> adiometer <b>S</b> uite

V textu jsou používány značky jednotek SI včetně jejích odvozených variant.

# 1 Úvod

**Světlo** je přirozenou součástí prostředí života na Zemi. Přítomnost světla ovlivňuje denní rytmy člověka, ale i ostatních organismů. Slunce a Měsíc tak měly po dlouhou historii vliv na jejich aktivitu. Přirozené střídání světla a tmy začalo být narušováno s rozvojem společnosti, která měla potřebu svítit i v temných částech dne. Nadužívání umělého světla je nyní umocněno populačním růstem, zvyšujícím se výkonem zejména elektrických svítidel, ale také rozšiřujícími se komerčními aktivitami člověka. Zvýšená míra umělého osvětlení v noci působila problémy nejprve astronomům, kterým bylo znemožněno pozorovat objekty na noční obloze, ale později byly prokázány negativní vlivy na zdraví lidí, chování živočichů a fungování ekosystémů.

**Světelné znečištění** nelze rychlostí účinků přirovnat např. k radiaci či kontaminaci vzduchu, půdy či vody toxickými látkami, nicméně má mnohem širší dopady. Dle Falchiho a kol. (2016) je světelným znečištěním postiženo okolo 83 % světové populace. Prostorovým rozložením světelného znečištění se zabývá řada prací, jako např. Walker (1970) v Kalifornii, Falchi a Cinzano (2000) v Itálii či Žibera (2016) ve slovinském Mariboru a okolí.

Předložená **bakalářská práce** navazuje na kvalifikační práce Kocourka (2014), Vojtěchovské (2014), Hrnčířové (2015), Kocourka (2017) a Šéna (2018), které zkoumají světelné znečištění z pohledu geografa. Smyslem práce je na základě terénních měření odhadnout zákonitost chování světelného znečištění v prostoru v závislosti na přírodních podmínkách. Předmětem studia je vliv lesa na šíření světelného znečištění jakožto přirozené bariéry. Myšlenka zpracování tohoto tématu byla podpořena polohou domovského města Kladna, jehož západní část je obklopena lesem, zatímco východní část sousedí především s polními lány. Práci ovšem nebylo možné z časových možností a odborné strany věci pojmout jako plnohodnotnou studii. Lze ji označit za jakousi výzkumnou sondu, která může být v budoucnu podrobena komplexnějšímu šetření.

Ačkoliv to nemusí být patrné, světelné znečištění nabízí velice široké spektrum témat ke zpracování, od možností osvětlovací techniky přes zdravotní a environmentální důsledky, ochranu tmavé oblohy a legislativní předpisy až po metodologii kvantifikace světelného znečištění. Teoretická část bakalářské práce si neklade za cíl popsat všechna dostupná témata, ale vybrat pouze některá a v logickém sledu je představit. Ve třech kapitolách jsou shrnuty poznatky o světle, světelném znečištění a zájmovém území.

## 2 Cíle práce

**Teoretická část** práce je založena na studiu odborné literatury, a to zejména článků v odborných časopisech, učebnic, ale i vybraných internetových zdrojů a obhájených kvalifikačních pracích. Účelem teoretické části je představit získané informace a splnit následující cíle:

- shrnout poznatky o světelném znečištění,
- prezentovat méně frekventovaná témata v závěrečných pracích jako např. vliv přírodních faktorů, modelování a metody kvantifikace světelného znečištění,
- informovat o úskalích při zjišťování jasu noční oblohy, zejména v souvislosti s astronomickými a meteorologickými podmínkami a přístrojovým vybavením.

Obsahem **praktické části** je terénní měření jasu noční oblohy, interpretace, porovnání a prezentace získaných hodnot. Hlavní pracovní hypotézou je bariérový efekt lesa, kdy se předpokládá nižší jas noční oblohy ve směrových měřeních ve směru Kladno na stanovištích zakrytých lesem než v obdobných směrech na stanovištích nezakrytých lesem vůči Kladnu. Aby mohla být hypotéza potvrzena či zamítnuta, byly stanoveny následující cíle:

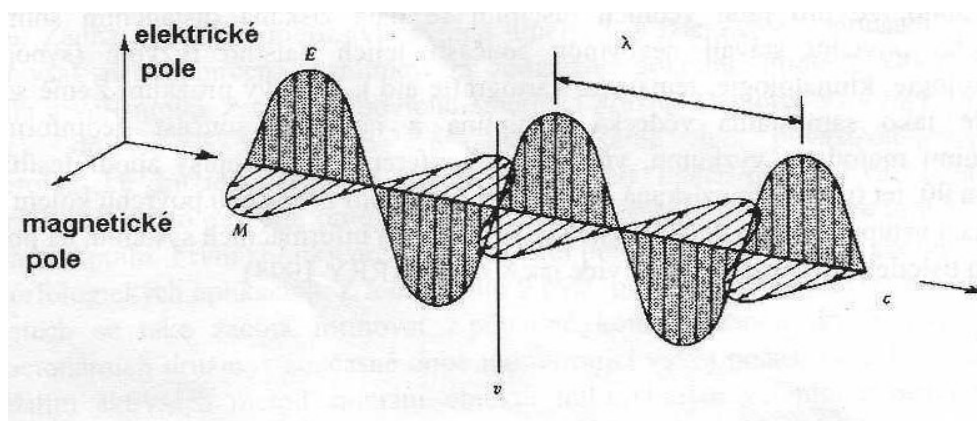
- na několika vybraných stanovištích v okolí Kladna zjistit jas noční oblohy pomocí jasoměru Sky Quality Meter typu L (SQM-L) v zenitu a v osmi světových stranách,
- získané hodnoty znázornit pomocí směrových grafů,
- ve dvojicích stanovišť, kdy jedno stanoviště je vůči Kladnu zakryté lesem a druhé nezakryté, porovnat měření ve směru Kladno,
- posoudit, zda má les jako krajinný prvek vliv na šíření světelného znečištění.

Získané hodnoty jasu noční oblohy v okolí Kladna mohou vhodně rozšířit elektronickou databázi SkyQuality.cz, která se zaměřuje na objektivní posuzování kvality noční oblohy.

## 3 Světlo

### 3.1 Fyzikální podstata

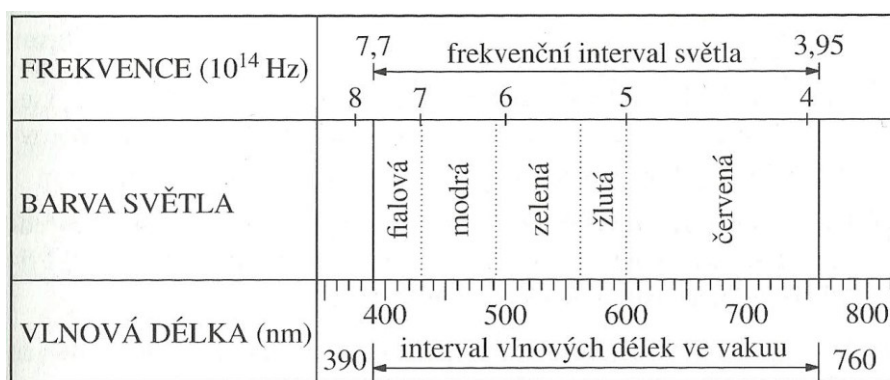
Světlo a zákony jeho chování zajímaly lidskou společnost odpradávná. Ve starověku se odrazem světla zabýval Klaudios Ptolemaios, ale matematicky vyjádřil zákon odrazu až Willebrord Snel (1591–1626). Experimentem Isaac Newton (1643–1727) ukázal, že se bílé světlo průchodem skleněným hranolem rozloží na několik barevných složek. Výzkum optiky provázal rozkol, zda je světlo proud částic (*korpuskulární teorie*) či vlnění (*vlnová teorie*). Zkoumaný ohyb světla posiloval vlnovou teorii, která je spojena například se jménem Christian Huygens (1629–1695). Etienne Louis Malus (1775–1812) objevil polarizaci světla a zjistil, že odporuje zastávané představě podélných vln. Matematicky vlnovou teorii zpracoval Gustav Robert Kirchhof (1823–1887). James Clark Maxwell (1831–1879) sestavil rovnice popisující elektrické a magnetické jevy a předpověděl tak elektromagnetické vlny (obr. 1). Jejich existenci prokázal experimentem Heindrich Hertz (1857–1894), což znamenalo vítězství vlnové teorie. Albert Einstein (1879–1955) popsal fotoelektrický jev tak, že kinetická energie vyletujících elektronů nezávisí na intenzitě dopadajícího světla, ale jeho vlnové délce. Podle Einsteina je samo světlo tvořeno částicemi, které následně Gilbert Lewis (1875–1946) pojmenoval jako fotony. V současnosti je zastáván tzv. korpuskulárně-vlnový dualismus, kdy má světlo jak částicový, tak vlnový charakter (Malý 2008).



**Obrázek 1:** Schéma elektromagnetické vlny a znázornění jejích základních složek: vlnové délky ( $\lambda$ ) a frekvence ( $\nu$ ), její rychlost ( $c$ ) je určena vztahem  $c = \lambda\nu$ . Převzato z Dobrovolný (1998).



Taková část elektromagnetického záření, která dokáže v lidském oku vyvolat zrakový vjem, se nazývá **viditelné záření**. Jedná se o záření o vlnových délkách zhruba od 380 do 770 nm (různí autoři uvádí často rozdílné intervaly). Každé monofrekvenční záření v tomto intervalu vyvolává určitý barevný počitek (obr. 2). Na viditelné záření navazuje v oblasti kratších vlnových délek ultrafialové záření a v oblasti větších vlnových délek infračervené záření. Lidské oko je nejcitlivější na záření o vlnové délce okolo 550 nm a rozezná ve spektru slunečního záření asi 128 barevných tónů. Nicméně vnímání barev je individuální a závisí na schopnostech zraku každého jedince. Záření způsobující zrakový vjem a barevný počitek se nazývá **světlo** či světelné záření (Habel, Žák 2011; Lepil 2002; Sokanský a kol. 2011).



**Obrázek 2:** Vztah vlnové délky, frekvence a barvy světla. Převzato z Lepil (2005).

### 3.2 Základní fotometrické veličiny

**Světelný tok** ( $\Phi$ ) vyjadřuje množství světelné energie, které vyzáří zdroj do svého okolí. Zdroj světla vysílá na všechny strany proud zářivé energie. Množství této energie procházející určitou plochou za určitý čas se nazývá zářivý tok ( $\Phi_e$ ). Zářivý tok představuje velikost výkonu, které záření přenáší, vysílá nebo přijímá, proto se měří ve wattech. Světelný tok odpovídá zářivému toku, který je posuzován ze strany citlivosti lidského oka. Jednotkou světelného toku je 1 lumen (lm), viz Fuka, Havelka (1961) a Sokanský a kol. (2011).

**Svítivost** ( $I$ ) popisuje prostorovou hustotu světelného toku. Svítivost je možné určit jen pro bodový zdroj světla, který má vzhledem k velikosti okolí zanedbatelné rozměry. Svítivost je určena vztahem:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} [cd]$$

kde  $d\Phi$  je světelný tok měřený v lumenech a  $d\Omega$  je prostorový úhel měřený ve steradiánech. Jednotkou svítivosti je 1 kandela (cd), která je jednou ze sedmi základních jednotek SI. Od roku 1979 je kandela definována svítivost zdroje, který vyzařuje pod určitým úhlem

monochromatické záření o frekvenci  $540 \cdot 10^{12}$  Hz a intenzitě  $1/683 \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1}$  (Habel, Žák 2011; Sokanský a kol. 2011). Pro lepší představu uvádí Lepil (2005, s. 136): „Jednotková svítivost skutečně odpovídá přibližně svítivosti obyčejné svíčky. Žárovka o příkonu 100 W má svítivost asi 200 cd.“

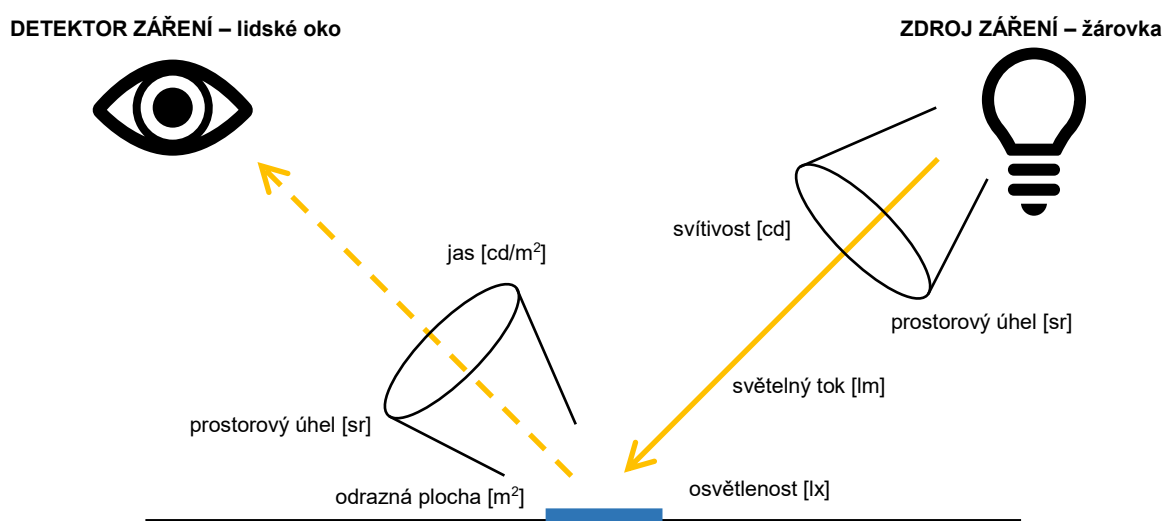
**Osvětlenost** či intenzita osvětlení ( $E$ ) představuje hodnotu světelného toku dopadající na jednotkovou plochu (plocha  $1 \text{ m}^2$ ). Osvětlenost je dána vztahem:

$$I = \frac{d\Phi}{dA} [\text{lx}]$$

kde  $d\Phi$  je světelný tok měřený v lumenech a  $dA$  je plocha v  $\text{m}^2$ , na kterou dopadá světelné záření. Jednotkou osvětlenosti je 1 lux (lx), ale lze se setkat i s jednotkou 1 phot (ph). Pak platí, že  $1 \text{ ph} = 10^4 \text{ lx}$  (Habel, Žák 2011; Sokanský a kol. 2011). O osvětlení mluvíme pouze v případě, že světelné záření na plochu dopadá. Pokud daná plocha světlo vyzařuje, jedná se o **světlení** či intenzitu světlení (Fuka, Havelka 1961).

**Jas** ( $L$ ) je definován jako měrná svítivost a je určen prostorovou a úhlovou hustotou světelného toku. Hodnota jasu je proto závislá na poloze a směru pohledu pozorovatele. Jas je veličina, na kterou je lidské oko schopné reagovat. Jednotkou jasu je 1 kandela na metr čtvereční ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ), dříve označovaný jako nit (nt). Méně často se uvádí jako jednotka i 1 kandela na centimetr čtvereční ( $\text{cd}/\text{cm}^2$ ), dříve označovaná jako stilb (sb), viz Krtilová, Matoušek, Monzer (1981) a Sokanský a kol. (2011).

Vztah základních fotometrických veličin znázorňuje obrázek 3.



**Obrázek 3:** Vztah základních fotometrických veličin. Vytvořeno autorem podle Fuka, Havelka (1961) a Habel, Žák (2011).

Hvězdná velikost či **magnituda** (*mag*) je fotometrická veličina používaná astronomy pro porovnání jasu hvězd a jiných objektů na obloze. Název nemá se skutečnou velikostí nic společného, původem bylo latinské slovo *magnitudo* čili velikost. Pro porovnávání magnitud dvou hvězd je určena Pogsonova rovnice:

$$mag_1 - mag_2 = -2,5 \log \frac{E_1}{E_2}$$

kde *mag* je magnituda a *E* je osvětlenost v luxech. Tudiž platí, že hvězda, která je stokrát jasnější, má magnituda větší o 5 a hvězda, která je tisíckrát jasnější, má magnituda větší o 10. Nejjasnější objekty na obloze mají záporná magnituda (tab. 1). Pro svázání s fotometrickými veličinami soustavy SI slouží vztah:

$$\log E = -0,4(mag + 14)$$

kde *mag* je magnituda a *E* je osvětlenost v luxech. Hvězda o magnitudu 1 má osvětlenost  $10^{-6}$  luxů a hvězda s osvětlením 1 lux má magnitudu -14. Aby hvězda s určitou osvětleností měla odpovídající magnitudu, bylo nutné určit některé hvězdy pro stanovení nulového standardu. Jednou z takových hvězd je referenční hvězda  $\lambda$ UMi s magnitudou 6,55 v souhvězdí Malé medvědice (Vanýsek 1980).

Objekt na obloze	Magnituda
Slunce	-26,8
Měsíc v úplňku	-12,0
Sirius	-1,6
Vega	0,0
nejslabší hvězdy viditelné prostým okem	6
nejslabší hvězdy viditelné triedrem	9 až 10
nejslabší zjištěitelné objekty	23 až 24

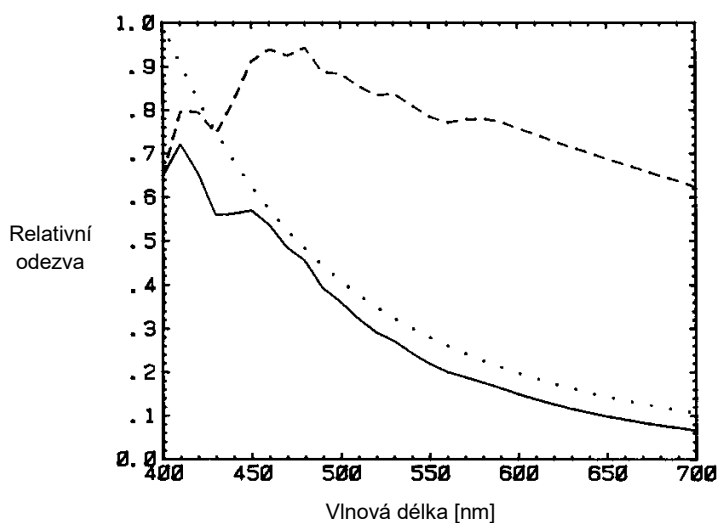
**Tabulka 1:** Vybraná nebeská tělesa a jejich jas v magnitudách. Převzato z Vanýsek (1980).

Magnituda je vhodná pro určení jasu bodového zdroje, zatímco pro měření jasu noční oblohy se obvykle používá **magnituda na čtvereční úhlovou sekundu** ( $\text{mag}/\text{arcsec}^2$  či MSA). V literatuře zabývající se světelným znečištěním je používání této jednotky standardem, a to zejména díky použití jasoměru Sky Quality Meter (SQM; více v oddíle 4.5.1). Výsledky měření budou v této práci prezentovány v MSA, stejně tak jako např. v Kocourek (2014), Kocourek (2017), Šén (2018). Vzhledem k tomu, že stupnice MSA je logaritmická a naměřené hodnoty nelze efektivně porovnávat, je výhodné je převést na kandely na metr čtvereční (Šén 2018). Bujalský (2012), který používá ve své práci luxmetr Extech EA 30, uvádí jas oblohy v luxech.

### 3.3 Světlo v atmosféře

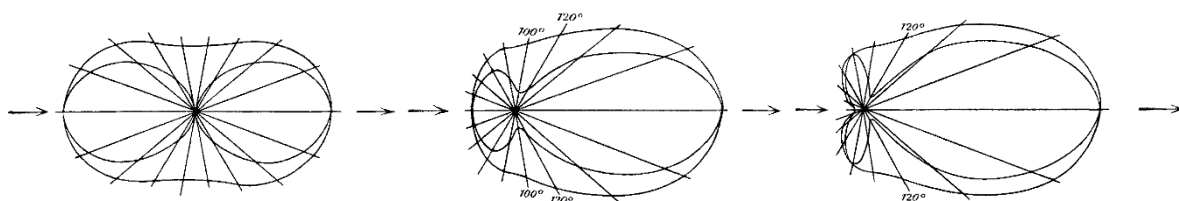
Atmosféra způsobuje změnu charakteru procházejícího elektromagnetického záření jak v kvalitativním, tak i kvantitativním smyslu. V atmosféře dochází k **pohlcování** (*absorpce*), kdy je záření zeslabováno a zářivá energie se přeměňuje na energii tepelnou či elektrickou. Přirozeně dochází v atmosféře k selektivní absorpci (např. ozón a kyslík pohlcují ultrafialové záření). Dalším jevem je **rozptyl** (*difuze*), kdy je záření rozptýleno do všech směrů částicemi, která se pak sama chová jako zdroj záření. K rozptylu dochází na molekulách a atomech plynů (*molekulární* či *Rayleighův* rozptyl) a na větších kapalných a pevných částicích v atmosféře (*aerosolový* či *Mieův* rozptyl). Kombinací pohlcování a rozptylu dochází k **zeslabování** (*extinkce*) záření. Intenzita popsanych jevů je závislá na délce dráhy paprsků, hustotě vzduchu a obsahu příměsí v atmosféře (Netopil a kol. 1984). Právě atmosférický rozptyl má zásadní význam při šíření světelného znečištění (bude přiblíženo v kapitole 4; např. Aubé 2015; Cinzano, Falchi 2012; Garstang 1986; Mizon 2002).

Aby proběhl **Rayleighův rozptyl**, musí být splněny dvě podmínky. Velikost částice musí být menší než vlnová délka přicházejícího záření a záření ovlivněného průchodem částice. Podle Rayleighova zákona je intenzita rozptýleného záření přímo úměrná intenzitě přicházejícího záření a nepřímo úměrná čtvrté mocnině jeho vlnové délky. Proto platí, že čím je vlnová délka přicházejícího záření menší, tím vyšší intenzitu má rozptýlené záření. Přicházející záření je částicemi rozptýleno rovnoměrně do všech směrů (obr. 5). Vzhledem k tomu, že Slunce vyzařuje nejintenzivněji na vlnových délkách žluté až zelené barvy, Rayleighův rozptyl způsobuje modrou barvu oblohy (obr. 4; Bohren 2003; Hansen, Travis 1974; Netopil a kol. 1984).



**Obrázek 4:** Rayleighův zákon (tečkovaně), intenzita slunečního záření (čárkovaně) a důsledek obou faktorů (plně). Převzato z Bohren (2003).

**Mieův rozptyl** není tak výrazně závislý na vlnové délce (Netopil a kol. 1984). Mie (1908) při výzkumu rozptylu na částicích zlata zjistil, že po průchodu částicí pokračuje většina záření dále pod úhlem větším než 90 stupňů (obr. 5). Ve slabých zákalech je při konstantní koncentraci částic intenzita rozptýleného záření úměrná velikosti částic. V silných zákalech slábní závislost na velikosti částice a již nezávisí na vlnové délce přicházejícího záření. Vzniká tzv. difuzní odraz, kdy se nemění spektrální složení, což je příčinou bílého či šedého zabarvení oblaků a mlhy (Mie 1908, Netopil a kol. 1984).



**Obrázek 5:** Rayleighův rozptyl na nekonečně malé částici (vlevo), Mieův rozptyl na částici o průměru 160 nm (uprostřed) a 180 nm (vpravo). Převzato z Mie (1908).

### 3.4 Světelné zdroje

Světelným zdrojem se rozumí takový zdroj, který vysílá záření určené k přeměně na světlo. Světelné zdroje lze rozdělit na **prvotní** (také *vlastní*), které samy o sobě vysílají viditelné záření, a **druhotné** (také *nevlastní*), které záření odráží, případně propouští paprsky na něj dopadající. Dále je také možné vymezit **přírodní** a **umělé** světelné zdroje (Habel, Žák 2011).

#### 3.4.1 Přírodní světelné zdroje

Nejvýznamnější kosmický světelný zdroj pro život na Zemi představuje **Slunce**. Slunce je hvězda spektrální třídy G2V, tzv. žlutý trpaslík, a patří mezi hvězdy hlavní posloupnosti (Vanýsek 1980). Vanýsek (1980) uvádí hodnotu sluneční konstanty, kterou definuje jako energii procházející za jednotku času plochou  $1 \text{ cm}^2$  vystavenou mimo zemskou atmosféru kolmo ke slunečním paprskům a umístěnou ve vzdálenosti 1 AU od slunečního středu, zhruba  $1,36 \text{ kW/m}^2$  a hodnotu svítivosti zhruba  $4 \cdot 10^{26} \text{ W}$ , což je celková energie vyzařovaná Sluncem do prostoru. Dle Rayleighova zákona je rozptylováno záření s maximem na vlnové délce 475 nm (obr. 4; Bohren 2003).

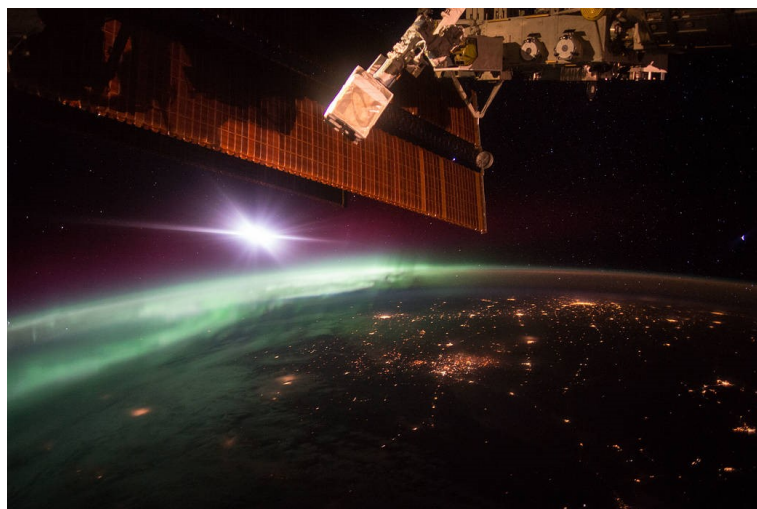
Kromě Slunce dopadá na Zemi světlo vyzařované i ostatními hvězdami. **Hvězdný svit** je výsledkem nukleárních procesů uvnitř hvězdných jader. Každou sekundu se přemění miliony tun hvězdné hmoty na elektromagnetické záření, které je vysláno napříč vesmírem (Mizon 2012). V pozdním stádiu hvězd, kdy hvězda nemá již dostatek vlastního materiálu

k transformaci, dochází k explozím, které se nazývají novy, respektive supernovy. Při výbuchu supernovy se jas zvýší až o 20 mag, takže jsou pozorovatelné pouhým okem (Vanýsek 1980).

**Měsíc** je jedinou přirozenou družicí Země. Je nejvýraznějším objektem noční oblohy a při úplňku dosahuje jeho jas až k -12,0 mag (viz tab. 1). Doba rotace Měsíce je shodná s dobou oběhu kolem Země, tudíž pozorovatel na Zemi sleduje stále tutéž stranu Měsíce. Nicméně díky libracím lze pozorovat až 59 % jeho povrchu. Samotný Měsíc nevyzařuje, pouze odráží sluneční svit. Podle podílu plochy osvětlené Sluncem se rozlišují fáze Měsíce. Při novu, kdy není Měsíc osvětlen Sluncem, lze pozorovat tzv. popelavý svit Měsíce, který způsobuje sluneční svit odražený od Země (Vanýsek 1980).

Výraznými světelnými zdroji na noční obloze jsou také **planety**. Lze je pozorovat v oblasti zvířetníku a jas pěti nejvýraznějších planet převyšuje jas mnohých hvězd. Nejjasnější planetou s jasnem až -4,7 mag je Venuše. Dále je možné pouhým okem pozorovat Merkur, Mars a plynné obry Jupiter a Saturn (Mizon 2012). Dále Mizon (2012) popisuje zodiakální či **zvířetníkové světlo**, které vzniká rozptýlením slunečního svitu drobnými částicemi shromážděnými v rovině ekliptiky, a **gegenschein** či protisluní, což je sluneční svit soustředěný kolem protislunečního bodu způsobený opět rozptýleným slunečním svitem. Zvířetníkové světlo i gegenschein jsou pozorovatelné pouze na velmi tmavé obloze (Mizon 2012).

Samotnou atmosféru je možné považovat za druhotný světelný zdroj, jelikož rozptyluje přicházející sluneční svit. V atmosféře vzniká světlo díky elektrometeorům, tj. projevům elektriny. Patří mezi ně **blesk**, **ohně svatého Eliáše**, což je elektrický výboj kumulovaný na přirozených a umělých hrotech či vrcholcích hor a stromů, a **polární záře** (obr. 6), která vzniká ve výšce 80 až 500 km nad zemí díky ionizaci korpuskulárního záření (ČMES 1993).



**Obrázek 6:** Polární záře z Mezinárodní vesmírné stanice (ISS). Autor: Scott Kelly (2015)

Na povrchu Země je významným zdrojem světla **oheň**, který může vzniknout úderem blesku, zapálením unikajícího zemního plynu (např. kráter Darvaza v Turkmenistánu) nebo činností člověka. Světlo vyzařuje i žhavé **magma**.

Světélkování živých organismů se nazývá **bioluminiscence**. Světlo je výsledkem chemické reakce, kdy se oxiduje tuková látka luciferin za přítomnosti enzymu luciferázy. Během reakce se uvolňuje studené světlo (Bocáková 2009). Světélkovat dokáží některé bakterie (např. *Photobacterium phosphorescens*), stopkovýstrusné houby (např. hlívovník olivový žlutooranžový), obrněnky (např. *Noctiluca scintillans*), medúzy, žebernatky, pérovníci, hadice, krakatice, ohnivky, sumky, mořští i suchozemští červi, korýši, měkkýši, stonožkovci či světlušky (Harvey 1920; Sochor, Egertová 2015).

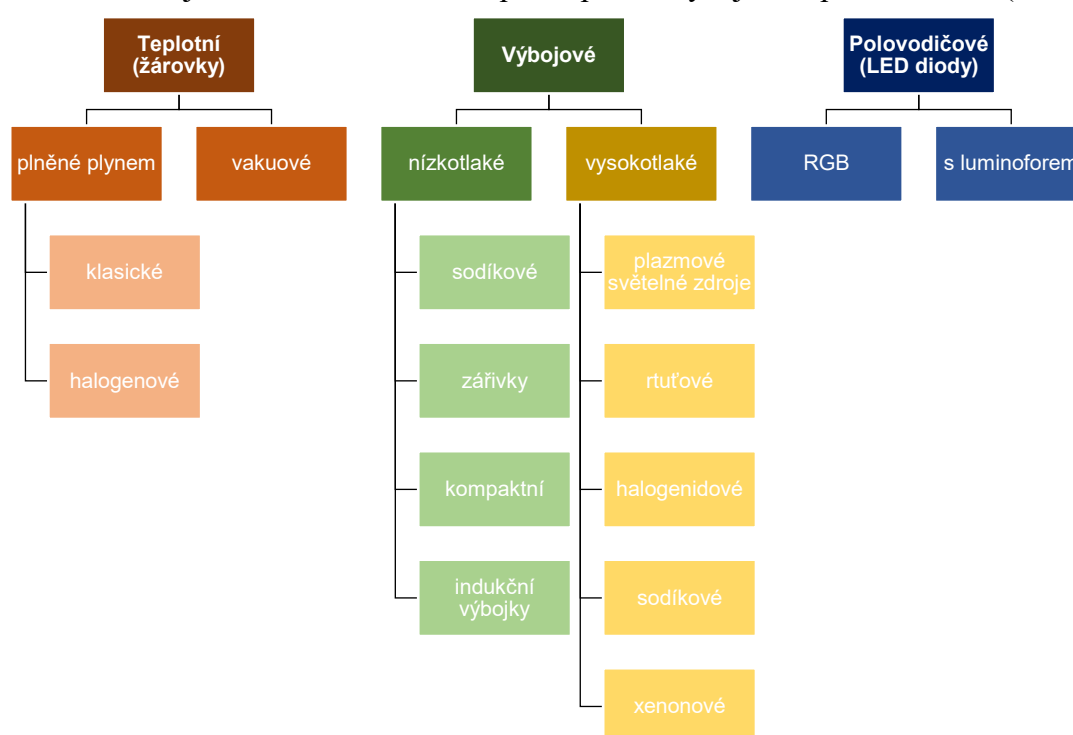
### 3.4.2 Umělé světelné zdroje

Oheň ve službách člověka je již považován za umělý zdroj světla. Nejstarší pozůstatky ohniště jsou třetihorního stáří a byly nalezeny u jihoafrického Makapansgatu. Tehdejší australopitékové sice neuměli oheň rozdělat, ale dokázali si jej obstarat v přírodě a udržovat jej, aby byli chráněni před šelmami. Primitivním přenosným svítidlem byla smolná pochodeň. Nejstarším dochovaným svítidlem je miska s držadlem používaná jako kahan. Pochází z mladšího paleolitu (*magdalénien*) a byla nalezena v jeskyni La Mouthe ve Francii. Palivem byl zvířecí tuk a jako knot sloužil nejspíše svinutý rašelíník. S ohledem na konstrukci svítidla lze ale uvažovat o používání kahanů již ve středním paleolitu. Starověké civilizace v Egyptě, Mezopotámii a Indii svítily olejovými lampami. Jakýmsi nástupcem olejových lamp byly svíčky vyráběné nejprve z tuku, poté ze včelího vosku. K hromadné výrobě svíček přispěl až objev stearínu (1825) a parafínu (1830). S technickým rozvojem v 19. století se začaly používat petrolejové lampy a plynová svítidla, nicméně dominantním zdrojem světla se postupně stala elektrická svítidla. Přelomovým se stal objev elektrického oblouku, který v roce 1810 předvedl Humphry Davy (1778–1829). První žárovku s uhlíkovou tyčinkou navrhl Marcelin Jobart (1792–1861). Thomas Alva Edison (1847–1931) představil v roce 1878 zdokonalenou žárovku (Chalupský 1981; Krtilová, Matoušek, Monzer 1981). Vzhledem k současnému rozšíření elektrických svítidel a souvislosti se světelným znečištěním (např. Mizon 2012), budou podrobněji popsány na následujících stranách.

Sokanský a kol. (2005) vymezuje čtyři principy vzniku světla v současných elektrických zdrojích světla:

- tepelné buzení (*indikadence*) vznikající při zahřátí pevné látky na vysokou teplotu (např. v klasických a halogenových žárovkách),
- vybuzení atomů v elektrickém výboji (např. v nízkotlakých a vysokotlakých výbojkových zdrojích),
- luminiscence pevných látek (např. v zářivkách),
- emise fotonu při průchodu proudu polovodičovým přechodem (např. v LED diodách).

Elektrická svítidla jsou rozdělena do tří skupin: teplotní, výbojové a polovodičové (obr. 7).

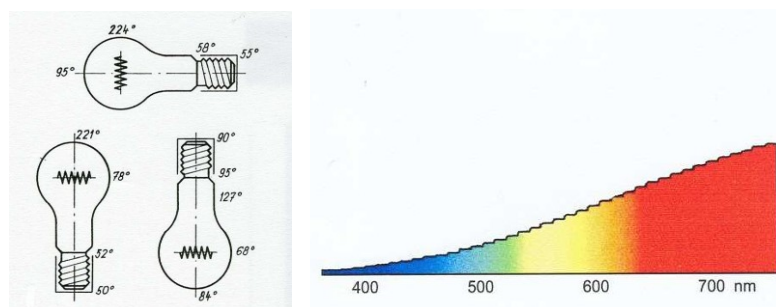


**Obrázek 7:** Rozdělení elektrických světelných zdrojů dle Sokanského a kol. (2011).

**Žárovky** (obr. 8) jsou nejběžnějším teplotním svítidlem. Jejich jednoduchá konstrukce, malé rozměry, nízká hmotnost, jednoduché napájení, nízká cena, okamžitý start, stabilní svícení během celé životnosti, spojité spektrum, nezávislost na teplotě okolí a absence látek zatěžující životní prostředí z nich dělají nejrozšířenější zdroje světla. Mezi jejich nevýhody patří malá životnost, malý měrný výkon a výrazná závislost parametrů na stabilitě napájení (změna napětí o 1 % vyvolá změnu měrného výkonu o 3,6 %). Žárovka se skládá z wolframového vlákna, kterým proudí elektrický proud, baňky určitého tvaru (obyčejné, svíčkové, kulové, tvarované, lineární) a povrchového provedení (čiré, matné, opálové, reflektorové, barevné) a patice. Žárovky jsou značně nevhodné, 95 % dodané energie je přeměněno na teplo a zbylých 5 %



na světlo. Životnost výrazně snižuje proudový náraz při zapnutí z důvodu poměrně malého odporu studeného vlákna (Habel, Žák 2011; Sokanský a kol 2011). Vzhledem k převážnému používání v interiérech mají na míru světelného znečištění zanedbatelný vliv (Kocourek 2017).

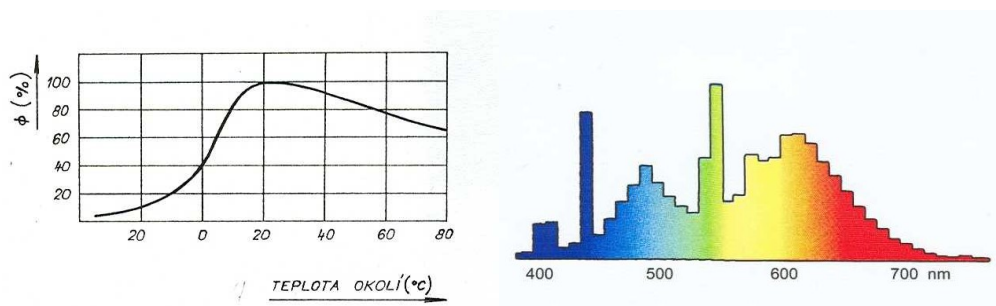


**Obrázek 8:** Schéma klasické žárovky (vlevo) a její vyzařovací spektrum (vpravo). Převzato z Habel, Žák (2011).

**Halogenové žárovky** představují další vývojový stupeň klasických žárovek. Baňku vyplňuje příměs halogenů (většinou jód, brom, chlór a jejich sloučeniny). Podstatné zdokonalení přináší halogenový regenerační cyklus, kdy molekuly wolframu odpařeného z vlákna putují ke stěně baňky, kde se ochladí a reakcí vzniká halogenid wolframu, který se vrací zpět k vláknu. Poblíž vlákna se při určité teplotě opět rozkládá na wolfram a halogenid, který putuje zpět ke stěně baňky. Tento mechanismus výrazně zvyšuje životnost žárovky. K dalším výhodám halogenových žárovek oproti klasickým patří např. stabilita světelného toku během celé životnosti, vyšší měrný výkon, větší odolnost vůči teplotním změnám, vyšší teplota chromatičnosti či menší průměr baňky (Habel, Žák 2011; Sokanský a kol 2011).

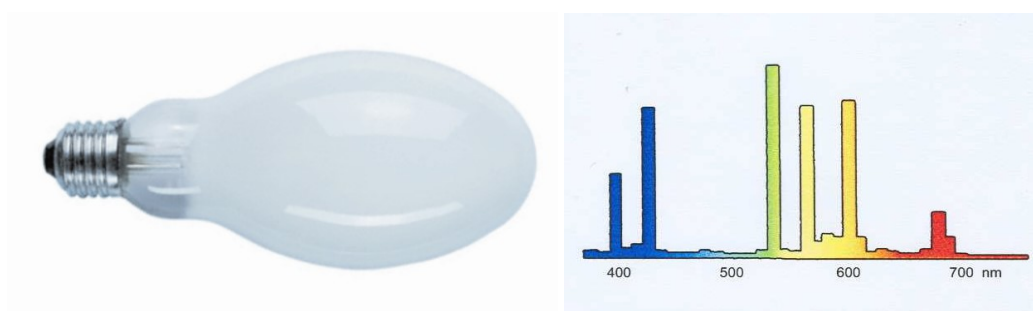
**Zářivky** patří mezi nízkotlaké rtuťové výbojky. Zářivka je skleněná trubice potažená luminoforem na vnitřní straně a je opatřena elektrodou na každém konci. Náplní jsou páry rtuti a vzácné plyny. Nízkotlaký výboj přemění pouze 2 % energie ve viditelné záření a přes 60 % energie v ultrafialové záření (185,0 nm a 253,5 nm), které luminofor transformuje ve viditelné záření. Vyšší tlak vzácných plynů v trubici zvyšuje životnost, ale zpomaluje zapalování. Světelný tok zářivek je závislý na teplotě okolí (viz obr. 9). Životnost, která může být až 18 tisíc hodin, snižuje časté vypínání a zapínání. Proto jsou zářivky vhodné pro místa se stabilním osvětlením a stabilní teplotou (Habel, Žák 2011; Sokanský a kol 2011).

**Indukční výbojky** patří také mezi nízkotlaké rtuťové výbojky, ale na rozdíl od zářivek nemají elektrody. Výboj a hoření je způsobeno cívkami. Životnost dosahuje až 60 tisíc hodin. Další výhodou je jejich rychlý náběh (Sokanský a kol. 2011).



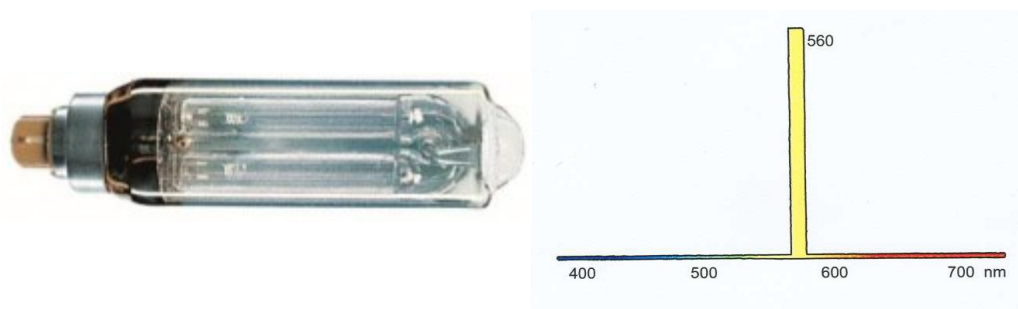
**Obrázek 9:** Závislost světelného toku žárovky na teplotě prostředí (vlevo) a její vyzařovací spektrum (vpravo). Převzato z Habel, Žák (2011).

**Vysokotlaké rtuťové výbojky** (obr. 10) vytváří viditelné světlo při tlaku par rtuti v baňce obvykle 0,1 MPa a vyšším. Zhruba 15 % dodané energie je transformováno na viditelné záření modrobílé až modrozelené barvy. Zbylá energie je přeměněna na ultrafialové záření vlnové délky 365 nm a je luminoforem transformováno na červené světlo, které v barevném spektru chybí. Kvůli nízkému indexu podání barev není vhodné používání v interiérech. Dnes jsou vysokotlaké rtuťové výbojky nahrazeny kvalitnějšími a efektivnějšími světelnými zdroji (Habel, Žák 2011; Sokanský a kol 2011).



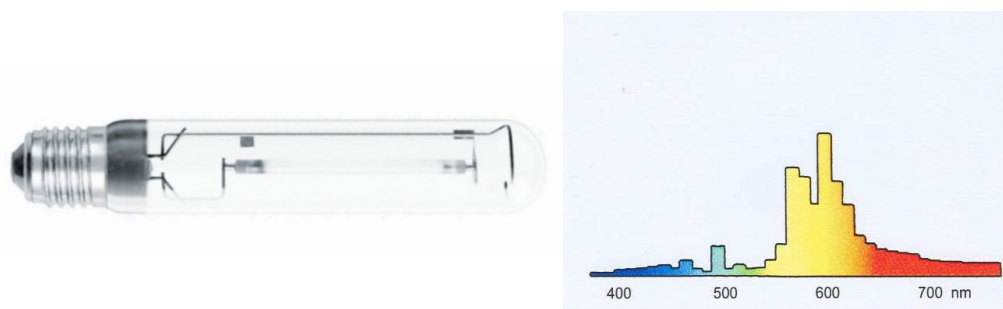
**Obrázek 10:** Vysokotlaká rtuťová výbojka (vlevo) a její vyzařovací spektrum (vpravo). Převzato z Habel, Žák (2011) a Sokanský a kol. (2011).

**Nízkotlaké sodíkové výbojky** (obr. 11) produkují téměř monochromatické světlo o vlnových délkách 589,0 až 589,6 nm, které má žlutou barvu. Primární výboj vzniká ve výbojové trubici z boritého skla vyplněné směsí argonu a neonu. Při tlaku sodíkových par 0,5 Pa se stěny trubice zahřívají až k 300 °C. Vzhledem k velice špatnému podání barev, které lidským okem nejdou rozlišit, mají omezené využití. Nízkotlaké sodíkové výbojky jsou vhodné k osvětlení výpadových silnic a dálnic (zejména v Beneluxu a Velké Británii), seřaďovacích nádraží, případně je lze využít jako signální světla. Žluté světlo je vhodné k rozeznávání podrobností, zvyšuje kontrast jasů a dobře se uplatní také jako osvětlení v mlze. V Česku se s osvětlením nízkotlakými sodíkovými výbojkami lze setkat jen vzácně a se širším využitím se již nepočítá (Habel, Žák 2011; Sokanský a kol 2011).



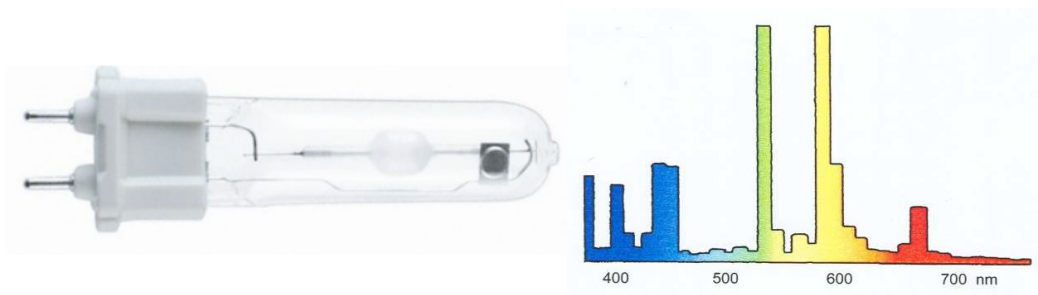
**Obrázek 11:** Nízkotlaká sodíková výbojka (vlevo) a její vyzařovací spektrum (vpravo). Převzato z Habel, Žák (2011) a Sokanský a kol. (2011).

**Vysokotlaké sodíkové výbojky** (obr. 12) vyzařují stejně jako nízkotlaké sodíkové výbojky žluté světlo v rozmezí vlnových délek 589,0 až 589,6 nm, nicméně mají lepší podání barev. Vzhledem k vysokému tlaku (zhruba 26,6 kPa), teplotě až 800 °C a vysoké chemické aktivitě sodíku je hořák výbojky vyroben z korundu. Hořák je vyplněn netečným plynem, kterým je většinou argon nebo xenon. Díky dlouhé životnosti (až 30 tisíc hodin), minimálního poklesu světelného toku během života, nezávislosti na teplotě okolí (fungují v rozmezí od –40 do +65 °C) a úspoře energie jsou vhodným zdrojem pro venkovní osvětlení. Jsou často využívány jako osvětlení silnic, ulic, fasád domů a jako bezpečnostní osvětlení (Habel, Žák 2011; Sokanský a kol 2011).



**Obrázek 12:** Vysokotlaká sodíková výbojka (vlevo) a její vyzařovací spektrum (vpravo). Převzato z Habel, Žák (2011) a Sokanský a kol. (2011).

**Halogenidové výbojky** (obr. 13) jsou vysokotlaké rtuťové výbojky, kde světlo vzniká zářením nejen par rtuti, ale především zářením produktů štěpení halogenidů (sloučenin halových prvků s galiem, thaliem, sodíkem apod.). Při tvorbě světla se uplatňuje podobný cyklus jako v halogenových žárovkách. Provozní teplota hořáku je až 750 °C a tlak rtuťových par okolo 0,5 MPa. Halogenidové výbojky mají velice dobré podání barev, proto se využívají např. i v lékařství, polygrafickém průmyslu či v galeriích. Výhodou jsou také malé rozměry, vysoký výkon a rozmezí funkčních teplot od –20 do +60 °C. Pořizovací cena je však vysoká (Habel, Žák 2011; Sokanský a kol 2011).

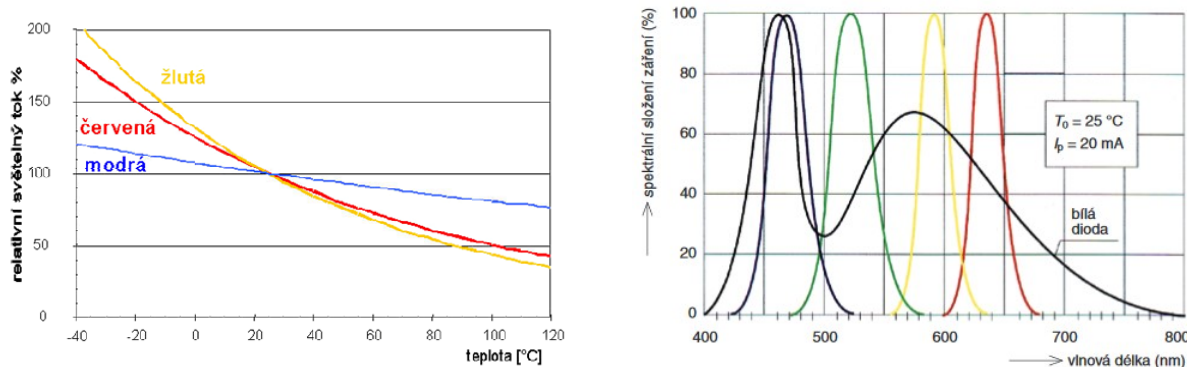


**Obrázek 13:** Halogenidová výbojka (vlevo) a její vyzařovací spektrum (vpravo). Převzato z Habel, Žák (2011) a Sokanský a kol. (2011).

**Xenonové výbojky** mají vyzařovací spektrum podobné dennímu světlu. Pro zážeh je nutný vysokonapěťový impuls (až 20 kV), mohou mít příkon až 10 kW a chladí se vodou nebo vzduchem. Používají se jako automobilové světlomety a v projekční a osvětlovací technice (Sokanský a kol. 2011).

**Plazmový světelný zdroj** je ve vývoji od roku 2007. Hořák, který je naplněný směsí halogenidů, je zapálen bezkontaktně vysokofrekvenčním mikrovlnným zdrojem. Má dobré podání barev a životnost až 50 tisíc hodin. Plazmový zdroj se používá v lékařství, projekční technice nebo jako osvětlení sportovišť (Sokanský a kol. 2011).

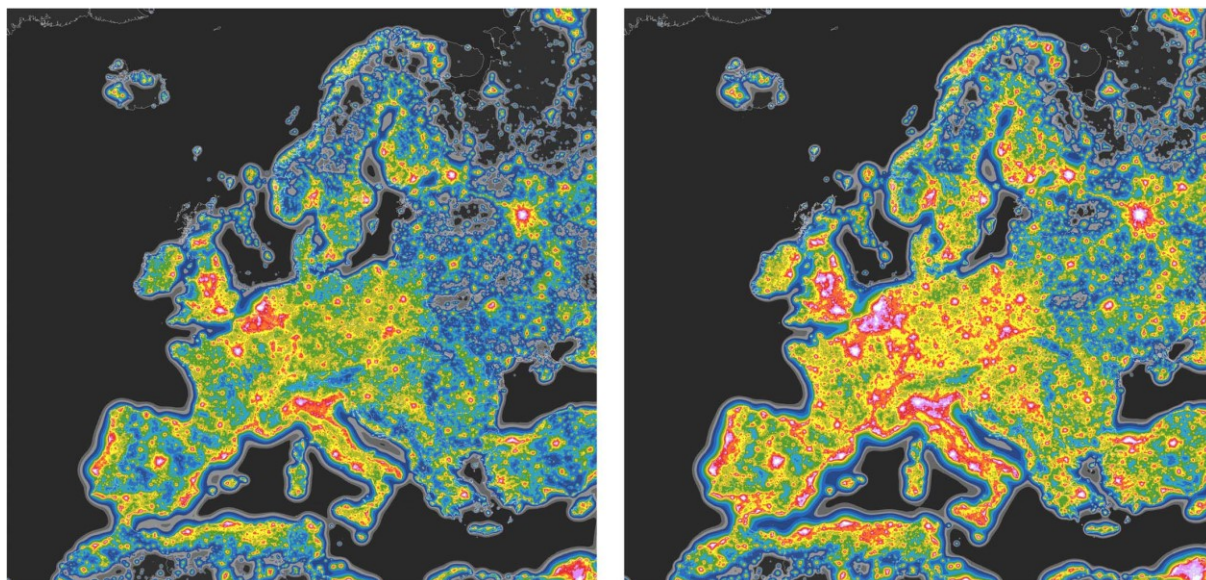
**Světelné diody** (*light-emitting diode*, LED) produkují světlo při průchodu proudu polovodičovým přechodem v propustném směru. Vzniká v podstatě monochromatické záření. Bílé světlo vzniká buďto aditivním skládáním tří základních barev (červené, zelené, modré) nebo použitím modré diody s pouzdem opatřeným luminoforem. Světlený tok je závislý na teplotě okolí, s rostoucí teplotou světlený tok klesá (obr. 14). Nejstabilnější je světelný tok modrých diod. Jediná dioda má malý výkon, nicméně je lze sdružovat do větších celků. I přes vyšší pořizovací cenu jde o perspektivní zdroj světla s vysokým indexem podání barev a životností až 100 tisíc hodin (Habel, Žák 2011; Sokanský a kol 2011).



**Obrázek 14:** Závislost světelného toku diod červené, modré a žluté barvy na teplotě (vlevo) a vyzařovací spektra dle barvy diody (vpravo). Převzato z Habel, Žák (2011) a Dvořáček (2009).



Často pokládanou otázkou je vliv použité technologie venkovního osvětlení na stav světelného znečištění. Ústup klasických žárovek sledoval v 60. letech 20. století ve Spojených státech amerických (*United States of America, USA*) Riegel (1973). Upozorňoval na vysokotlaké rtuťové výbojky vyzařující modré světlo o vlnové délce 435,8 nm ohrožující astronomická pozorování a vysokotlaké sodíkové výbojky šestkrát účinnější než původní žárovky. Na základě tehdejších změn v osvětlovací technice předpokládal, že se během 12 let zvýší míra venkovního osvětlení o 300 %. V současnosti jsou diskutovány změny související s přechodem na osvětlení LED diodami. Falchi a kol. (2016) varují před LED diodami, které 2,5krát zvýší světelné znečištění v Evropě oproti současnému osvětlení vysokotlakými sodíkovými výbojkami (obr. 15). Podle Luginbuhla, Boleyho, Davise (2014) se přechodem na LED technologii zvýší jas oblohy ve srovnání s nízkotlakými sodíkovými výbojkami osmkrát u zdroje světla a téměř čtyřikrát ve vzdálenosti 300 km. Nicméně dle Kyby a kol. (2012) lze světlo z LED diod lépe směřovat a vzhledem k rychlému rozsvícení a zhasínání operativněji přizpůsobit potřebám člověka. Na základě měření na Vídeňské univerzitní observatoři světelné znečištění způsobují především vysokotlaké sodíkové výbojky a zářivky (Puschnig, Posch, Uttenhalter 2014).



**Obrázek 15:** Světelné znečištění v Evropě v roce 2014 (vlevo) a po přechodu na osvětlení LED diodami (vpravo). Nejvíce znečištěné – bílá, fialová, červená, oranžová, žlutá, zelená, modrá, šedá, černá – nejméně znečištěné. Převzato z Falchi a kol. (2016).

## 4 Světelné znečištění

### 4.1 Definice a terminologie

Světelné znečištění nemá tak jako řada enviromentálních a geografických pojmů striktní definici, která by jej omezovala na významu. V literatuře se vyskytují definice, z jejichž znění lze vyvodit afiliaci autora. V následujících řádcích bude představen pojem světelné znečištění (*light pollution*) z astronomického, právního, meteorologického a ekologického pohledu.

Astronom a spoluzakladatel Mezinárodní asociace pro ochranu tmavé oblohy (*International Dark-Sky Association*, IDA) Crawford (2000, s. 37) vymezil **světelné znečištění** jako „*jakýkoliv nepříznivý účinek umělého světla, představován zejména světelnou září*“. Stejnou definici uvádí IDA (2019) dodnes. Podrobněji světelné znečištění popisuje astronom Basu (2001), který světelné znečištění popisuje jako „*škodlivé účinky venkovního osvětlení na astronomická pozorování, pro které je vyžadována temná obloha a které jsou silně ovlivněny specifickými spektrálními čarami vytvořené výbojkami*“.

Dnes již neplatný Zákon o ochraně ovzduší (2002) v původním znění definoval světelné znečištění jako „*každou formu osvětlení umělým světlem, které je rozptýleno mimo oblasti, do kterých je určeno, zejména pak míří-li nad hladinu obzoru*“ a dle nařízení Komise Evropského společenství (2009, s. 23) je světelné znečištění „*souhrn všech nepříznivých dopadů umělého světla na životní prostředí, včetně vlivu rušivého světla*“.

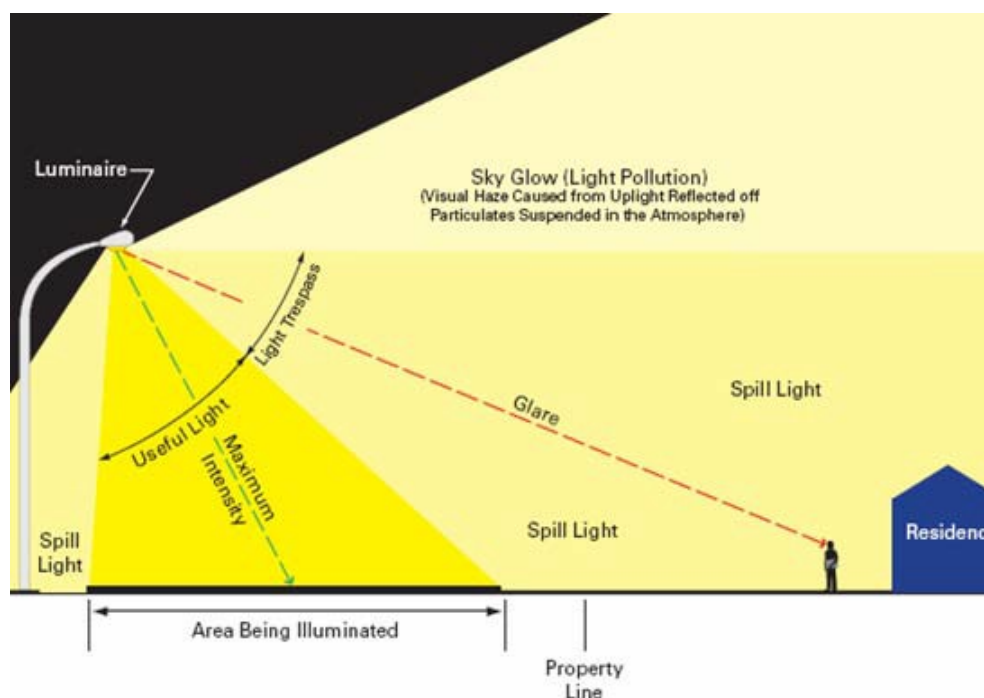
Komplexnější definici, co se týče příčin a důsledků světelného znečištění, uvádí Elektronický meteorologický slovník (2015): „*souhrnné označení pro osvětlení noční oblohy umělými světelnými zdroji. Působí rušivě zejména při astronomických pozorováních, narušuje některé životní rytmy živých organismů, spánkový režim apod. V této souvislosti jde nejen o světelné zdroje orientované vzhůru, ale i o světlo odražené od zemského povrchu nebo od osvětlovaných objektů. I v případě světelných toků vysílaných zdroji přibližně horizontálně se může významně uplatňovat rozptyl světla v atmosférickém prostředí*“.

Pojem světelné znečištění dále rozvedli Longcore a Rich (2004, s. 191), kteří oddělili astronomické světelné znečištění, které „*znemožňuje pohled na noční oblohu*“ a ekologické světelné znečištění, které „*mění přirozené režimy světla v suchozemských a vodních ekosystémech*“. Například RCEP (2009, s. 1) považuje světelné znečištění za „*efekt světla na špatném místě nebo ve špatný čas*“.

Výše uvedené definice naznačují, že světelné znečištění je z vědeckého a právního hlediska těžko uchopitelný pojem. Většina uvedených definic uvádí jako zdroj světelného znečištění umělé světlo či veřejné osvětlení, nicméně nejsou jednotné v tom, zda se jedná o samotné světlo či jeho účinky na okolí. Na nevhodnost termínu upozorňuje např. Maixner (2005), který tvrdí, že světlo není znečišťovatelem ovzduší, termín světelné znečištění byl vytvořen aktivisty a upřednostňuje termín rušivé světlo. Kotek (2006) s ním souhlasí, že světelné znečištění není vhodný termín, ale je pro veřejnost srozumitelnější než rušivé světlo. Opačný názor zastává Hollan (2004, s. 19), který uvádí: „*Znečištění je narušení přirozeného stavu prostředí. O světelném znečištění lze hovořit tehdy, kdy je právě světlo polutantem, látkou v prostředí cizorodou, nepatřičnou, nadbytečnou*“.

**Rušivé světlo** (*obtrusive light*) je dle Crawforda (2000, s. 38) „*nežádoucí nevyužité světlo, které kvůli svým kvantitativním, směrovým nebo spektrálním charakteristikám způsobuje nepohodlí, obtěžuje nebo znemožňuje vidět*“ a bývá synonymem světelného přesahu (*light trespass*) a dle Mizona (2012, s. 226) „*světlo vyzařované tam, kde není potřeba, obtěžuje a ničí životní prostředí*“. Nařízení Komise Evropského společenství (2009, s. 23) jej definuje jako „*část světla pocházející z osvětlovacího zařízení, která neslouží účelu, pro nějž bylo toto zařízení určeno. Patří k němu světlo nesprávně dopadající mimo osvětlovanou plochu, rozptýlené světlo v okolí osvětlovacího zařízení a záře, která rozjasňuje noční oblohu, k čemuž dochází vlivem přímého i nepřímého odrazu záření (viditelného i neviditelného) rozptylovaného složkami atmosféry (molekulami plynů, aerosolů a jemnými částicemi) ve směru pozorování*.“

Konkrétní podobu rušivého světla podává pouze definice Evropského Parlamentu a Rady, která jej kategorizuje obdobně jako jiní autoři (např. Crawford 2000, IDA 2019, Mizon 2012, RCEP 2009) uvádí formy světelného znečištění. Vzhledem k nejednotě autorů bude tato bakalářská práce pojednávat o světelném znečištění jako o stavu způsobeném rušivým světlem. Většina zdrojů této práce pracuje s pojmem světelné znečištění, proto bude používáno i dále v textu bakalářské práce.



**Obrázek 16:** Formy světelného znečištění. Převzato z Lutkevich, McLean, Cheung (2012).

**Světelná záře** (*skyglow* či *sky glow*, obr. 16) je rozjasnění noční oblohy způsobené rozptylem světla základními složkami atmosféry (plyny, molekuly, aerosoly a pevné částice) ve směru pozorování (Crawford 2000). Příčinou světelné záře jsou lidské zdroje záření vyzařovaného přímo vzhůru nebo odraženého od země a jiných povrchů (Crawford 2000), případně jde také o záření ze špatně zaměřených svítidel (IAU 2019, Mizon 2012). Světelná záře má oranžovou barvu (HCSTC 2003), v kombinaci s oblačností má červenou barvu (Kyba a kol. 2012). Jedná se o nejčastější formu světelného znečištění (RCEP 2009).

**Oslnění** (*glare*, obr. 16) je pocit vyvolaný jasnem v zorném poli vyšším, než na který je lidské oko zvyklé. Způsobuje nepohodlí, obtěžuje a snižuje viditelnost (Crawford 2000, IES 2018). Jedná se o nejnebezpečnější formu světelného znečištění a je způsobeno např. bezpečnostními světly, osvětlením sportovišť a průmyslových areálů či světly projíždějících aut (Mizon 2012). IES (2018) dále vyčleňuje přímé, odražené, oslepující a omezující oslnění.

**Světelný přesah** (*light trespass* či *light intrusion*, obr. 16) je popisován jako světlo dopadající tam, kde jej nikdo nepotřebuje nebo nechce. Často je synonymem pro termín rušivé světlo (Crawford 2000, IDA 2019). Častým viníkem jsou bezpečnostní světla (HCSCT 2003).

**Rozptýlené světlo** či **zbloudilé světlo** (*spill light* či *stray light*, obr. 16) je světlo, které se šíří mimo oblast, pro kterou bylo určeno. Je příčinou světelného přesahu (Crawford 2000, IDA 2019).

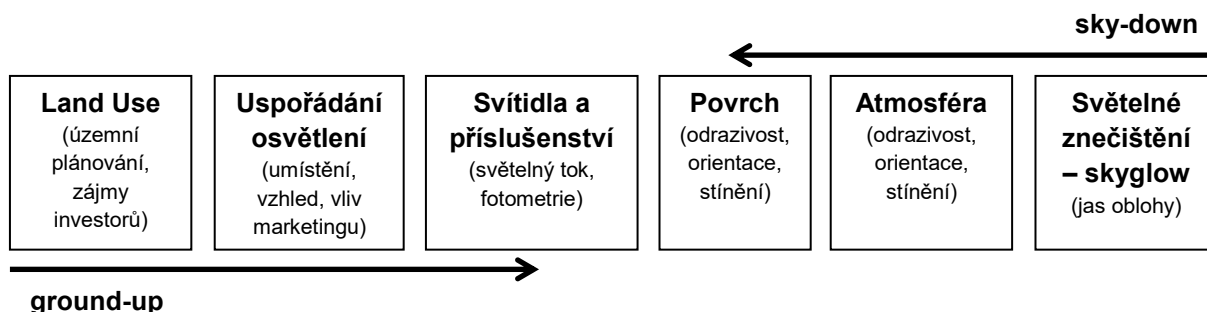


RCEP (2009) dále vymezuje pojmy **světelný nepořádek** (*light clutter*), kterým je např. nadměrné seskupení světel u silnice nebezpečné po řidiče, **nadužívání světla** (*light profligacy*), kterým je nadměrné osvětlení spojené s plýtváním energiemi a penězi, a **absence tmy** (*absence of darkness*), která je výsledkem osvětlení noční oblohy umělým světlem.

## 4.2 Vznik světelného znečištění

K pochopení vlivu umělého světla na světelné znečištění byly vytvořeny dva přístupy. Prvním je **sky-down** přístup (obr. 17), který je založen pouze na pozorování oblohy a fotometrickém měření jasu oblohy. Byly sestaveny vztahy mezi měřeními, populační velikostí sídla a vzdáleností pozorovatele (rozpracováno v oddíle 4.4; viz Walker 1977; Garstang 1986, 1989, 1991a). Jedním z cílů sky-down přístupů je odvodit charakteristiky osvětlení na zemi na základě jasu oblohy. Je kladen velký důraz na složení a strukturu atmosféry a odrazivosti povrchů (Luginbuhl a kol. 2009a).

**Ground-up** přístup (obr. 17) pohlíží na problematiku opačným způsobem. Na základě měření světelného toku je odhadována míra světelného znečištění. V potaz je bráno využití krajiny (land use), konstrukce, parametry a umístění jednotlivých svítidel (Luginbuhl a kol. 2009a).



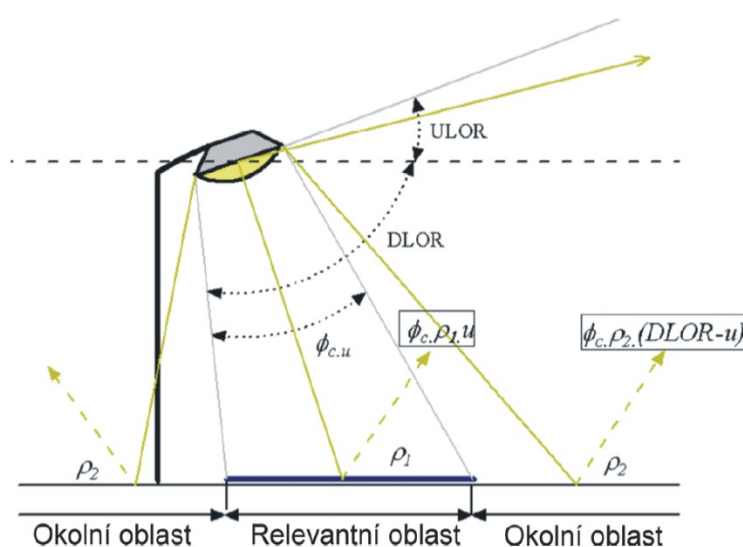
**Obrázek 17:** Schéma složek sky-down a ground-up přístupů. Vytvořeno autorem podle Luginbuhl a kol. (2009a)

Podle Morgan-Taylor (2015) je světelné znečištění způsobeno svícením mimo nutné časové období, směřováním světla do nežádoucích a použitím svítidel s nevhodnými spektrálními charakteristikami. Růst světelného znečištění také souvisí s rozvojem společnosti. Situaci v USA sledoval v 60. letech 20. století Riegel (1973) a stanovil pět příčin: suburbanizace a přechod na automobilovou dopravu, strach z krádeží a z násilí, zdokonalení osvětlovacích systémů, nárůst obchodních aktivit a rekreace v noci a reklama a kampaně doprovázené podporou dodavatelů osvětlovací techniky.

Zásadní roli hraje konstrukce svítidla a jeho schopnost usměrňovat vyzařované světlo. Sokanský a kol. (2011) uvádí v souvislosti s rušivým světlem světelný tok, který se šíří do horního poloprostoru, tedy nad obzor (obr. 18). Podíl světla vyzářeného do horního poloprostoru (*Upward Light Ratio*, ULR) určuje vztah (Sokanský a kol. 2011):

$$ULR = \frac{ULOR}{ULOR + DLOR}$$

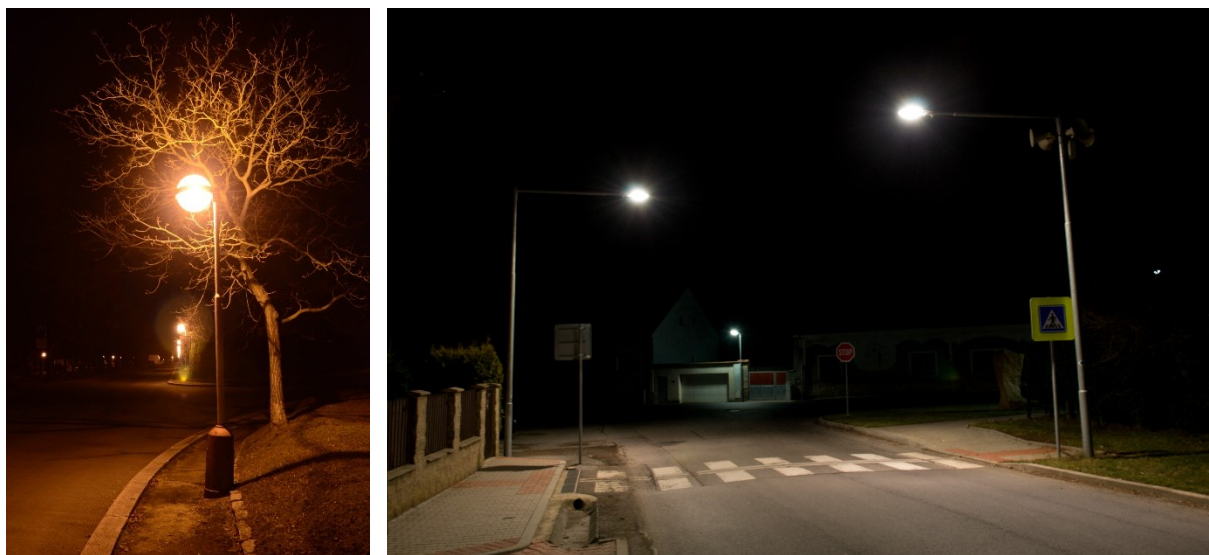
kde ULOR (*Upper Light Output Ratio*) je světelný tok vyzářený ze svítidla přímo do horního poloprostoru a DLOR (*Downward Light Output Ratio*) je světelný tok odražený od povrchů do okolních oblastí.



**Obrázek 18:** Přímá a odražená složka světelného toku v horním poloprostoru. Převzato ze Sokanský a kol. (2011).

Světelné znečištění, potažmo rušivé světlo, je způsobeno především venkovním osvětlením, nicméně vliv má také osvětlení interiérů. Výrazným znečišťovatelem je **osvětlení pozemních komunikací** (obr. 19). Jedná se o velice rozšířený typ osvětlení, v Česku je rozmístěno přes 1 milion svítidel veřejného osvětlení (OSTN 2019). Podle Crawforda (2000) je silniční osvětlení v „průměrném“ městě příčinou až 40 % světelného znečištění. Dále lze do této kategorie zařadit osvětlení ulic, náměstí, křižovatek, přechodů pro chodce, dopravních terminálů (autobusových a vlakových nádraží, přístavů a překladišť), tunelů a podjezdů. Problematické je nejen rozšíření, ale i kvalita a směr svícení. Osvětlená by měla být samotná komunikace a její bezprostřední okolí a úroveň osvětlení by měla být přizpůsobena typu a intenzitě provozu. Osvětlení by mělo být rovnoměrné bez oslňování řidičů a chodců. Vyvarovat by se mělo použití svítidel např. typu koule, válce či lucerny, které nedokáží vhodně směřovat světlo (OSTN 2019, Sokanský a kol. 2011). Světelné znečištění sezónně zvyšuje také vánoční

výzdoba, nicméně ve velkých městech má oproti jiným zdrojům světelného znečištění malý vliv (Portešová 2018).



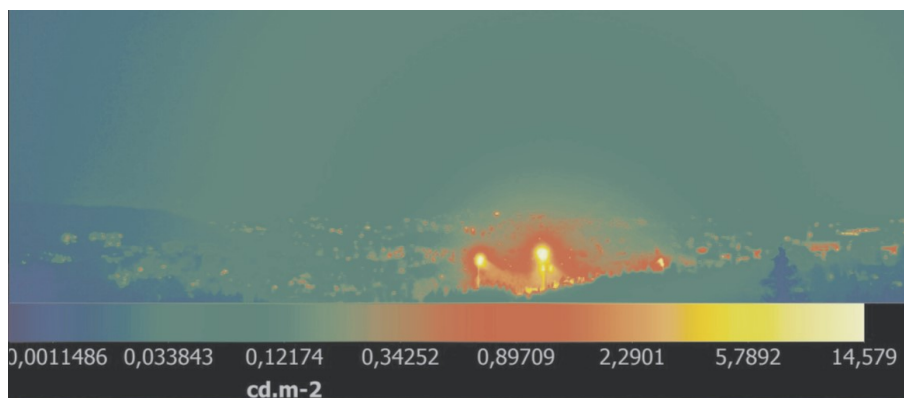
**Obrázek 19:** Nevhodně řešené pouliční osvětlení lampou typu koule v Lidicích (vlevo) a osvětlení přechodu v Doksech u Kladna (vpravo). Vyfotografováno autorem.

**Architektonické osvětlení** má za úkol zvýraznit místní pamětihodnosti a zatraktivnit prostředí obce v noci (obr. 20). Osvětlují se historické památky, mosty, sochy, fontány, parky a zahrady. V současnosti roste oblíbenost osvětlení fasád administrativních budov, hotelů, sportovních stadionů či obchodních center. Negativním faktorem je osvětlení objektu odzdoła nahoru, kdy často dochází ke světelnému přesahu mimo fasádu. Lepším řešením je osvětlování odshora dolů, což ovšem není vždy proveditelné. Zároveň je vhodné osvětlovat jasnějším, než je maximální povolený a osvětlení v noci vypínat. Architektonické osvětlení má smysl pouze v případech, kdy osvětlené objekty najdou své obdivovatele (OSTN 2019, Sokanský a kol. 2011).



**Obrázek 20:** Porovnání osvětlení kaple svatého Floriána v centru Kladna (vlevo) a kaple v Dolanech (vpravo). Vyfotografováno autorem.

**Osvětlení sportovišť** je zajišťováno výkonnými světelnými zdroji pro bezpečnou hru na sportovišti ale i snímání televizních přenosů. Jedná se sice pouze o přechodné osvětlení, ale kvůli intenzitě a vyzařování do všech směrů je silným zdrojem světelného znečištění (obr. 21). Řešením je účinnější směřování světla a omezení vyzařování vzhůru (Sokanský a kol. 2011, Suchan 2004). Osvětlením sjezdovek v Krkonoších se zabýval Bujalský (2010). Zjistil, že osvětlení negativně ovlivňuje i protější svahy a vegetace podél sjezdovek zmírňuje světelné znečištění.



**Obrázek 21:** Zvýšení jasu způsobené osvětlením sportovního stadionu. Převzato ze Sokanský a kol. (2011).

Jedním z nejrychleji rostoucích zdrojů světelného znečištění v okolí velkých měst a dálnic je **osvětlení venkovních pracovišť a stavenišť**. Často je jedná o necloněná bezpečnostní svítidla, která vyzařují do horního poloprostoru a disponují zbytečně velkým jasnem (obr. 22). Silné oslňující světlo působí kontraproduktivně, jelikož oslňuje a snižuje schopnost ostraha vidět. Zároveň dochází k světelným přesahům na sousední pozemky. Řešením je snížit úroveň jasu na přijatelnou úroveň, vyhnout se bílému světlu, případně vypínat osvětlení tam, kde není v noci přítomná ostraha (OSTN 2019, Suchan 2004).



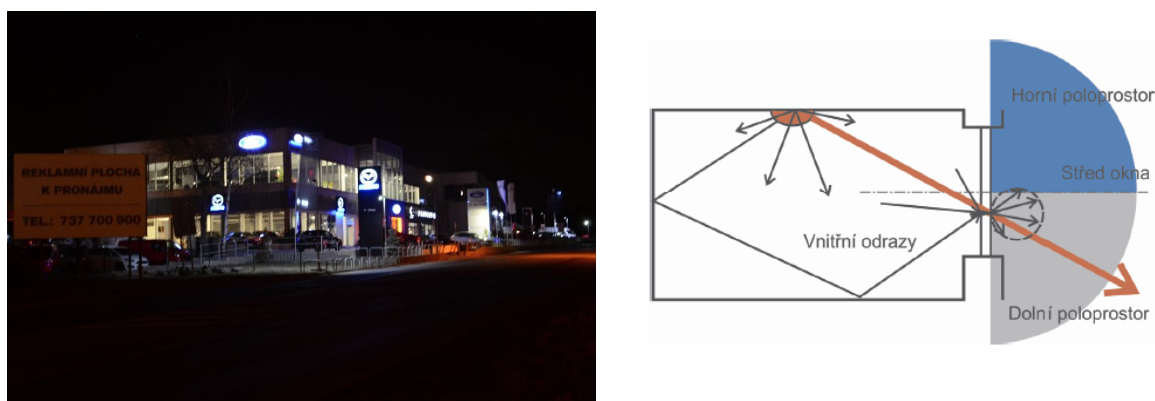
**Obrázek 22:** Bezpečnostní světla na skladu u Pavlova (vlevo; ve vzdálenosti zhruba 500 m) a sochorové válcovně v Kladně-Dříně (vpravo; ve vzdálenosti zhruba 1200 m) září do volné krajiny a způsobují oslnění. Vyfotografováno autorem.

**Reklamní osvětlení** (obr. 23) je další z rychle se rozvíjejících se znečišťovatelů. Problémem je světelná reklama a nasvícené reklamní plochy a poutače odrážející světlo často nepřiměřené intenzity. Negativní je osvětlení billboardů odspoda nahoru, kdy přesahující světlo tvoří tzv. světelný vějíř. Řešením je stejně jako u architektonického osvětlení použít osvětlení odshora dolů. Extrémním případem jsou laserové efekty, kdy je světlo záměrně vyzařováno do noční oblohy. Lasery představují nebezpečí pro letecký provoz a ohrožují migrující živočichy či astronomická pozorování (OSTN 2019, Sokanský a kol. 2011, Suchan 2004).



**Obrázek 23:** Světelné poutače před obchodním centrem Oáza na Kladně (vlevo) a osvětlená reklamní plocha nedaleko náměstí Sítňá (vpravo). Vyfotografováno autorem.

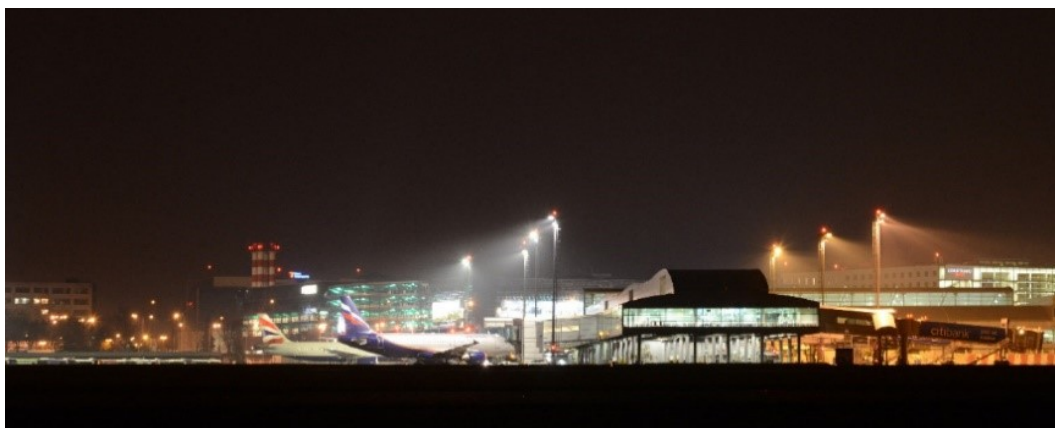
**Osvětlení v interiérech budov** je v porovnání s výše uvedenými zdroji spíše marginální zdroj světelného znečištění. Kromě obytných budov výrazně vyzařují světlo do okolí prosklené administrativní budovy a výlohy obchodů. Možné řešení je pouze částečné, a to omezit alespoň světlo vyzařující z budovy přímo do okolí, jelikož do horního poloprostoru se světlo dostane i odrazem od povrchů místnosti. Záleží tak na pozici světla v místnosti, konstrukci okna a přítomnosti závěsů a rolet (obr. 24, Sokanský a kol. 2011, Suchan 2004).



**Obrázek 24:** Interiérové osvětlení autosalonu na okraji Kladna (vlevo) a schéma světelného toku v místnosti a šíření světla do horního poloprostoru (vpravo). Vyfotografováno autorem a převzato ze Sokanský a kol. (2011).



Sokanský a kol. (2011) speciálně vymezuje **osvětlení letišť** (obr. 25), které má zvýšené nároky na omezení rušivého světla, zejména oslnění. Letištní svítidla mohou být také určena přímo pro svícení do horního poloprostoru (Sokanský a kol. 2011).



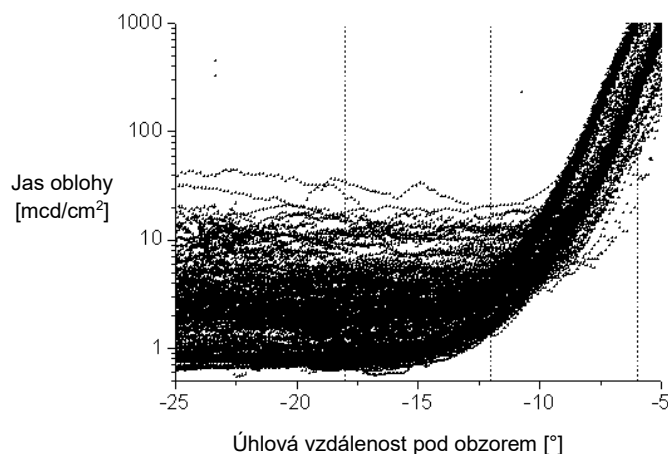
**Obrázek 25:** Osvětlení na mezinárodním letišti Václava Havla v Praze-Ruzyni. Převzato z Kocourek (2014).

Sezónní navýšení světelného znečištění dokáže způsobit **zábavní pyrotechnika**. Ve Vídni bylo při novoročních oslavách detekováno zvýšení jasu oblohy v zenitu o  $2 \text{ mag/arcsec}^2$  (Puschnig, Posch, Uttenhalter 2014).

### 4.3 Vliv přírodních faktorů

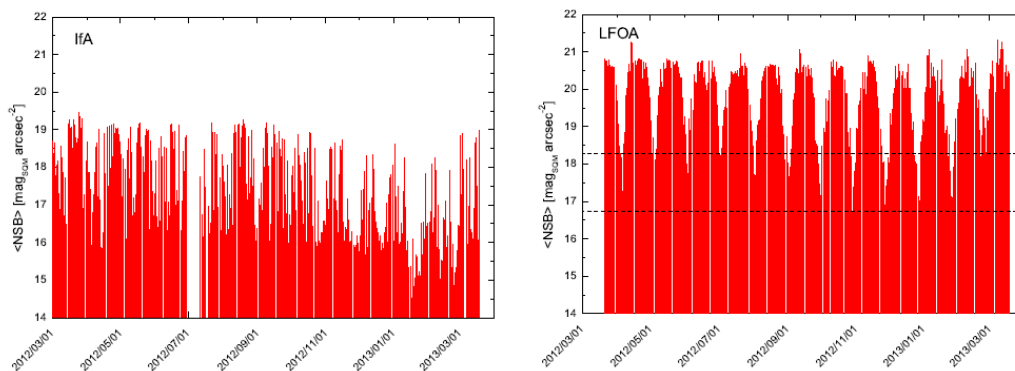
Stupeň, rozsah a charakter světelného znečištění ovlivňuje řada přírodních faktorů, zejména meteorologických. První tři popsání případy (Slunce, Měsíc, blesky) nemají přímou souvislost se světelným znečištěním, ale jejich svit navyšuje přirozený jas oblohy. Proto je vhodné je brát v úvahu při zjišťování stavu světelného znečištění.

I po západu **Slunce** pod obzor je jas oblohy ovlivněn paprsky, které se odráží v atmosféře. Rozlišuje se občanský soumrak, kdy je Slunce méně než  $6^\circ$  pod obzorem, lze pracovat bez osvětlení a stále nejsou vidět hvězdy; nautický soumrak, kdy je Slunce méně než  $12^\circ$  pod obzorem a objevují se první hvězdy, a astronomický soumrak, kdy je Slunce méně než  $18^\circ$  pod obzorem, jsou vidět hvězdy, ale ještě není úplná tma. Délka soumraku, ale i svítání, roste s deklinací. V praxi to znamená, že nejkratší soumrak probíhá na rovníku, naopak nejdelší na pólech (Čapek 1997). Měření v Nizozemsku prokázala, že jas oblohy se stabilizuje, až když je Slunce více než  $15^\circ$  pod obzorem (obr. 26). Proto není vhodné, aby bylo zkoumáno světelné znečištění, když je Slunce nad touto mezí (Lolkema a kol. 2011).



**Obrázek 26:** Závislost jasu oblohy na úhlové vzdálenosti pod obzorem. Tečkované čáry značí občanský, nautický a astronomický soumrak (zprava doleva). Převzato z Lolkema a kol. (2011).

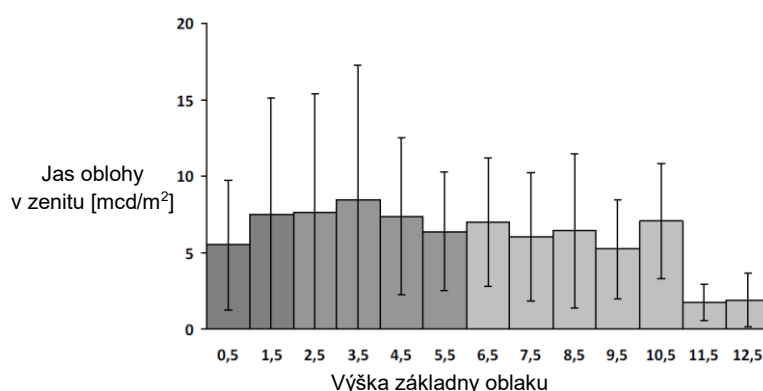
Podíl na osvětlení noční oblohy nese i **Měsíc**. Ve venkovském prostředí je snadno rozpoznatelný vztah měsíční fáze a jasu oblohy. Nejvyššího jasu dosahuje noční obloha při úplňku a nejnižšího jasu při novu. Ve městě není tento vztah tolik patrný, výraznější je vliv oblačnosti, jak bylo rozpoznáno ve Vídni a okolí (obr. 27; Puschnig, Posch, Uttenhalter 2014). Stejný mechanismus popsal v Plymouthu a okolí Davies a kol. (2013). Efekt úplňku je zesilován oblačností, která díky rozptylu více rozjasňuje oblohu (Puschnig a kol. 2014). Pro omezení vlivu zářícího měsíce při měření jasu oblohy je vhodné měřit jas, když je Měsíc pod obzorem (Lolkema a kol. 2011).



**Obrázek 27:** Vztah měsíční fáze a jasu oblohy ve městě (vlevo) a na venkově (vpravo). Převzato z Puschnig, Posch, Uttenhalter (2014).

Speciálním případem narušení noční tmy představují bouřky. Vzhledem k tomu, že **blesk** disponuje extrémně vysokým jasnem, ale pokrývá jen nepatrný zlomek oblohy, je vhodné určovat jas oblohy v luxech. Bylo zachyceno deseti tisícinásobné zvýšení jasu oblohy způsobené bleskem (Puschnig, Posch, Uttenhalter 2014).

**Oblačnost** přispívá k šíření světelného znečištění, neboť působí jako odrazná plocha pro světlo vyzařené z povrchu Země. Zvýšená míra světelného znečištění byla pozorována v souvislosti s výskytem kupy (*Cumulus*), dešťové slohy (*Stratocumulus*) a slohy (*Stratus*), tedy nízké oblačnosti (Hrnčířová 2015). Na základě pozorování v Nizozemsku lze konstatovat, že oblaka se základnou až do výšky 11 km ovlivňují jas noční oblohy stejnou měrou (obr. 28). Zároveň jas noční oblohy vzrůstá s podílem pokrytí oblohy oblačností (Lolkema a kol. 2011). Při zatažené obloze se rozptyluje 7krát více modrá a 17krát více červená barva než na jasné obloze (Kyba a kol. 2012).



**Obrázek 28:** Průměrný jas noční oblohy v zenitu a jeho směrodatná odchylka podle výšky základny oblaku. Nízká oblačnost (do 2 km; tmavě šedě), střední oblačnost (2 km až 6 km, šedě) a vysoká oblačnost (6 km až 13 km; tmavě šedě). Převzato z Lolkema a kol. (2011).

Specifickým druhem oblačnosti je **mlha**. Jedná se o atmosférický aerosol z malých vodních kapiček, případně malých ledových krystalků, který snižuje dohlednost pod 1 km (ČMES 1993). Pokud se mlha vyskytuje nad zdrojem světelného znečištění, zvyšuje míru světelného znečištění v místě zdroje, ale okolí zůstává před světelným znečištěním chráněno (Hrnčířová 2015).

**Sněhová pokrývka** silně ovlivňuje jas noční oblohy, a to především v zastavěných oblastech. Čerstvý sníh výrazně zvyšuje odrazivost povrchu, světlo z pouličních lamp se vrací zpět směrem k obloze. Kombinace sněhové pokrývky a oblačnosti dokáže vytvořit jas noční oblohy vyšší než při osvětlení měsícem v úplňku (Puschnig, Posch, Uttenhalter 2014).

Výsledky měření Hrnčířové (2015) poukazují na nezávislost **tlaku vzduchu** a míry světelného znečištění. **Vlhkost vzduchu** a míra světelného znečištění prokazuje slabou závislost, nicméně kvůli časově omezenému sběru dat nelze vyvodit konkrétní vztah (Hrnčířová 2015). Hrnčířová (2015) předpokládá, že s rostoucí vlhkostí vzduchu míra světelného znečištění zvyšuje.



Vliv **reliéfu** nebyl dosud dostatečně vysvětlen. Garstang (1989) předpokládá efekt stínění horami pouze v případě, že se nachází v těsné blízkosti města. Dle výpočtů hora Mount Graham (3269 m) v Arizoně snižuje jas oblohy v zenitu ovlivněný městem Tuscon pouze o 2 % (Garstang 1989). Šén (2018) porovnává v diplomové práci hodnoty jasu oblohy získané na místech s přímým výhledem na Plzeň a stíněné reliéfem. Výsledky ovšem neodpovídají základní hypotéze, která předpokládá nižší hodnoty jasu oblohy v místech v zákrytu vůči Plzni (Šén 2018).

Téměř nediskutovaným tématem je vztah **struktury krajiny** a šíření světelného znečištění. Luginbuhl a kol. (2009b) předpokládá blokování světelného znečištění v oblastech, kde zástavba převyšuje lampy a jiná svítidla, především tedy v centrech měst, a blokování vegetací zejména v příměstských oblastech. Zásadní krajinnou složkou je v tomto ohledu **les**, jehož funkce blokování světelného znečištění bude diskutována na základě měření jasu oblohy v praktické části této práce. Obecně má zeslabování světla při průchodu korunou stromu logaritmický trend, pokud se jednotlivá patra listů navzájem zastíňují, případně lineární trend, pokud je koruna uvažována jako jeden celek. Nicméně paprsek světla směřuje odshora dolů v téměř vertikálním směru (Binkley a kol. 2014). Bujalský (2010) zdůrazňuje, že vhodným lesnickým managementem lze zmírnit šíření světla. Chování světla je možné připodobnit k chování zvuku, který má také vlnový charakter. Bylo prokázáno tlumení zvuku procházejícího skrz lesní porost v různých výškových hladinách (Herrington, Brock 1977).

#### 4.4 Modelování

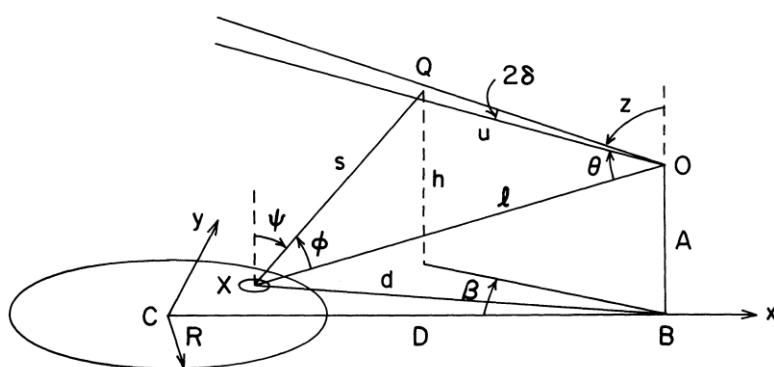
Snahy o aproximaci světelného znečištění, jakožto jev degradující životní prostředí, provázely celou historii výzkumu. Na základě měření v okolí kalifornských měst objevil Walker (1977) přímou úměru mezi populací a vzdáleností od města nepřímou úměru mezi jasnem noční oblohy a vzdáleností od města. Tyto dvě závislosti vyjádřil později Garstang (1991b) rovnicí:

$$I = cPD^{-2,5}$$

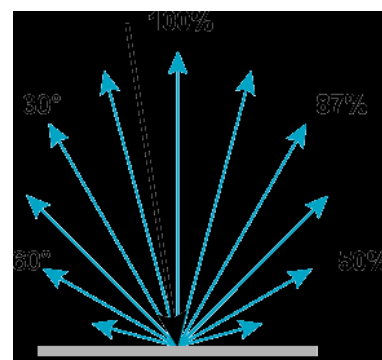
kde  $c$  je koeficient odvozený ze světelného toku na osobu a odrazivosti povrchu,  $P$  je počet obyvatel a  $D$  je vzdálenost od města. Výsledkem je nárůst světelné záře ve  $45^\circ$  nad horizontem ve směru proti městu. Tento vztah vešel později ve známost jako tzv. Walkerův zákon.

První teoretický model představil Garstang (1986, obr. 29). Zdrojem světelného znečištění je město kruhového půdorysu ležící v zadané nadmořské výšce. Celkový světelný tok města je přímo úměrný počtu obyvatel. Model pracuje s monochromatickým světlem o vlnové délce 550 nm, které je produkováno svítidly zaměřenými kolmo k povrchu a od

povrchu se odráží dle Lambertova kosinového zákona (obr. 30). Světlo vyzařované nad obzor považuje Garstang (1986) za zanedbatelné. Součástí modelu je aproximace vlivu atmosféry zahrnující složku molekul a aerosolu včetně jejich interakce se světlem (Rayleighův a Mieův rozptyl) a přirozený jas noční oblohy na pozadí ( $21,9 \text{ mag/arcsec}^2$ ). Výstupem modelu je jas oblohy závislý na vzdálenosti pozorovatele od města. Garstangův model nepracuje se zakřivením Země a s vlivem reliéfu (povrch Země se považuje za rovinu), nicméně výsledky modelu aplikovaného okolí měst Denver, Boulder a Toronto jsou ve srovnání s pozorováním vysoce uspokojivé (Garstang 1986).



**Obrázek 29:** Schéma Garstangova prvního modelu, který uvažuje střed města (C), jeho poloměr (R), vzdálenost od města (D), pozici pozorovatele (O), směr pozorování (z), místo atmosférického rozptylu (Q) rozdíl nadmořských výšek (h). Převzato z Garstang (1986).

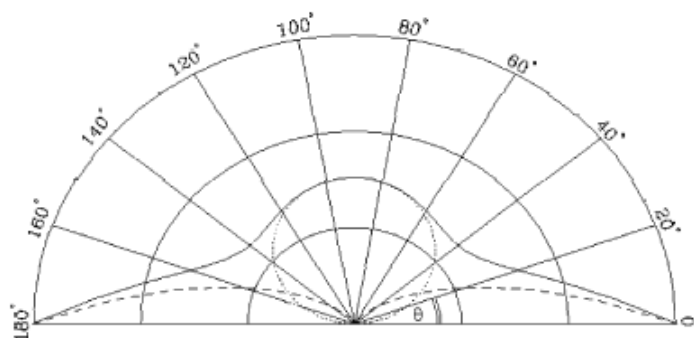


**Obrázek 30:** Schéma odrazu světla dle Lambertova kosinového zákona. Převzato z Ryer (2000).

Následující roky se Garstang věnoval zdokonalování modelu. Byl přidán faktor zakřivení Země a pásmo se zářením o vlnové délce 440 nm (Garstang 1989). Další změny reflektovaly vlivy atmosféry. Do modelu byly zapracovány vlivy ozonové vrstvy, vulkanického prachu a pouštního písku a zdokonaleny faktory aerosolového rozptylu a extinkce (Garstang 1991a).

Dopady světelného znečištění na základě Garstangova modelu (obr. 31) interpretuje Crawford (2000). Pokud je pozorovatel ve vzdálenosti 60 km od půlmilionového města, záře oblohy bude o 18 % intenzivnější než přirozený stav. Pokud bude mít město 1 milion obyvatel, světelná záře se zdvojnásobí. Významnou roli zde hraje vzdálenost. Například město v poloviční vzdálenosti od pozorovatele zvýší efekt světelné záře šestkrát a město desetkrát blíže zvýší efekt 316krát. Světlo vyzařované pod malým úhlem, ať kladným či záporným, vzhledem k horizontu má velký vliv na světelné znečištění ve velké vzdálenosti od města, zatímco světlo vyzařované směrem vzhůru snižuje jas oblohy pouze nad městem. Této myšlence se dále věnuje Cinzano a Castro (2000). Ve větších městech je uvažován vyšší světelný tok na člověka než v menších městech, což je způsobeno větším počtem reklam,

sportovních či nákupních center a osvětlení ulic. Významný je i vliv kvality ovzduší. Při zakalení atmosféry se míra světelného znečištění ve městě zvýší, okolí města je od světelného znečištění chráněno (Crawford 2000).



**Obrázek 31:** Garstangův „standartní model“ šíření světelného znečištění kolem města. Tečkovaně je znázorněno světlo odražené od povrchu, čárkovaně světlo vyzařované horizontálním směrem a plná čára celkové světelné znečištění. Převzato z Cinzano a Castro (2000).

Modelováním světelného znečištění se autoři věnují i nadále. Luginbuhl a kol. (2009b) navazuje na Garstangův „standartní model“ a snaží se věrohodněji vyjádřit intenzitu světelného znečištění. Model vytváří na základě města Flagstaff v Arizoně, které je nazýváno „městem tmavé oblohy“. Zdrojem světelného znečištění je město skládající se z 16 tisíců budov uspořádaných do mřížky o 25 x 20 buněk. Zároveň je uvažována i výška budov a směr vyzařování světla (přímo vzhůru, zeměpisná šířka a délka). Uvažován je až třikrát vyšší světelný tok na uživatele, který byl odvozen v Luginbuhl a kol. (2009a). Luginbuhl a kol. (2009b) přikládá také vysoký význam vzájemnému stínění budov a stínění vegetací, které je příčinou nižšího jasů oblohy ve velkých zenitových úhlech ve velké vzdálenosti od města.

Cinzano a Falchi (2012) představují tzv. rozšířený Garstangův model (*Extended Garstang Model*, EGM), který klade vysoký důraz na atmosférické podmínky. EGM zahrnuje vícenásobný rozptyl světla, záření od vlnových délek 250 nm až po infračervené záření, zakřivení Země a efekt zastínění reliéfem, nadmořskou výšku zdroje a pozorovatele, různé typy atmosféry s možností uživatelského nastavení (obsahující například inverzní vrstvy), směs aerosolů mezní vrstvy atmosféry a troposférických aerosolů s možností uživatelského nastavení, až pět vrstev aerosolů ve svrchní atmosféře obsahující čerstvý a letitý vulkanický popel a kosmický prach, funkce rozptylu závislé na nadmořské výšce, postupné a náhlé pohlcování plyny včetně ozonů, až pět vrstev oblačnosti a odrazivost povrchu závislou na vlnové délce s možností uživatelského nastavení (např. sníh). EGM tak dokáže zohlednit stínění horami, prostorovou rozmanitost atmosféry (včetně lokalizace oblačnosti) a rozložení povrchů s různou odrazivostí. Aplikace Garstangova standartního modelu a EGM podávají při průzračné atmosféře velice podobné výsledky (Cinzano, Falchi 2012).

Aproximaci světelného znečištění se dále věnují např. Duriscoe, Luginbuhl, Eldvidge (2014) či Aubé (2015). Jejich modely ovšem nedisponují takovým množstvím proměnných jako EGM. Kocifaj, Posch, Lamphar (2015) odvodili vztahy jasu noční oblohy a zenitu a blízko horizontu pro průzračnou, izotropně rozptylující a zakalenou atmosféru. Výsledky modelu byly konfrontovány s daty naměřenými nedaleko Vídně (viz Puschnig, Posch, Uttenhalter 2014). Model ale nepodává přesné výsledky kvůli nemožnosti aplikaci při konkrétních povětrnostních podmínkách (Kocifaj, Posch, Lamphar 2015).

## 4.5 Metody kvantifikace

Vzhledem k tomu, že definice světelného znečištění (viz oddíl 4.1) nejsou jednotné, neexistuje ani univerzální metodika pro kvantifikaci světelného znečištění. Způsob určení intenzity světelného znečištění se odvíjí od aplikovaného přístupu. Sky-down přístup, který je zprostředkován pohledem od povrchu Země k obloze, pracuje s jasnem oblohy, zatímco ground-up přístup, který je zprostředkován pohledem z oblohy směrem k povrchu, určuje záři produkovanou činností člověka na Zemi. Sky-down přístup využívají pozemní metody měření jasu oblohy a ground-up přístup využívají metody dálkového průzkumu.

### 4.5.1 Pozemní metody

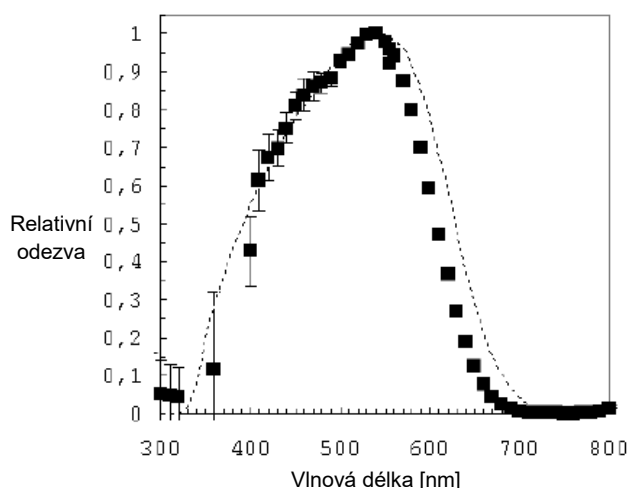
Nejpřirozenějším „nástrojem“, kterým lze hodnotit jas noční oblohy, je lidské oko. Metodou je stanovení **mezní hvězdné velikosti** (*limiting magnitude*), tedy určení hvězdy o nejvyšší magnitudě, tj. hvězdy s nejnižším jasnem. Metoda využívá omezené schopnosti lidského zraku rozeznávat scény s nízkým kontrastem. Na temné obloze jsou viditelné i slabé hvězdy, které lidské oko nedokáže na jasné obloze rozlišit (Hänel a kol. 2018). Vztahy mezi mezní hvězdnou velikostí a jasnem oblohy popisuje Crumey (2014).

Posouzení mezní hvězdné velikosti je vzhledem k citlivosti zraku každého jedince je individuální záležitostí (Bortle 2001). K určení kvality noční oblohy byla sestavena devítibodová **Bortleova stupnice**. Je vhodnou pomůckou pro amatérské astronomy a standardem pro hodnocení noční oblohy poškozené světelným znečištěním. Na „excelentně tmavé obloze“, která spadá do první třídy stupnice, je dobře viditelné zvířetníkové světlo, gegenschein a okem rozpoznatelné hvězdy až do magnitudy 8,0. Autor takovou oblohu označuje jako „pozorovatelskou Nirvanu“. Na „vnitřní městské obloze“, která je devátou třídou stupnice, nelze pozorovat některé hvězdy známých souhvězdí, osvětlená je obloha i v zenitu a okem jsou rozpoznatelné hvězdy jen do magnitudy 4,0 (Bortle 2001). Kompletní Bortleovu stupnici interpretuje ve svých pracích Kocourek (2014, 2017). Interaktivní znázornění

viditelnosti Orionu a Velkého vozu dle tříd Bortleovy stupnice umožňuje aplikace na webové stránce <https://academo.org/demos/bortle-scale/> (Academo 2019).

Posuzovat kvalitu noční oblohy mohou i pozorovatelé bez astronomických znalostí pomocí **aplikace Loss of the Night** na zařízeních s operačním systémem Android a iOS. Aplikace zobrazuje uživateli aktuální mapu noční oblohy, směřuje jej na konkrétní hvězdy a táže se, zda jsou viditelné. Databáze obsahuje hvězdy do magnitudy 5,2, takže je použitelná pouze v městském a příměstském prostředí. Aplikace dokáže odhadnout jas noční oblohy s přesností až 0,05 mag. Kromě samotného vyhodnocování zasílá také získaná data autorům pro porovnání (Forschungsverband Berlin e. V. 2013, Hänel a kol. 2018).

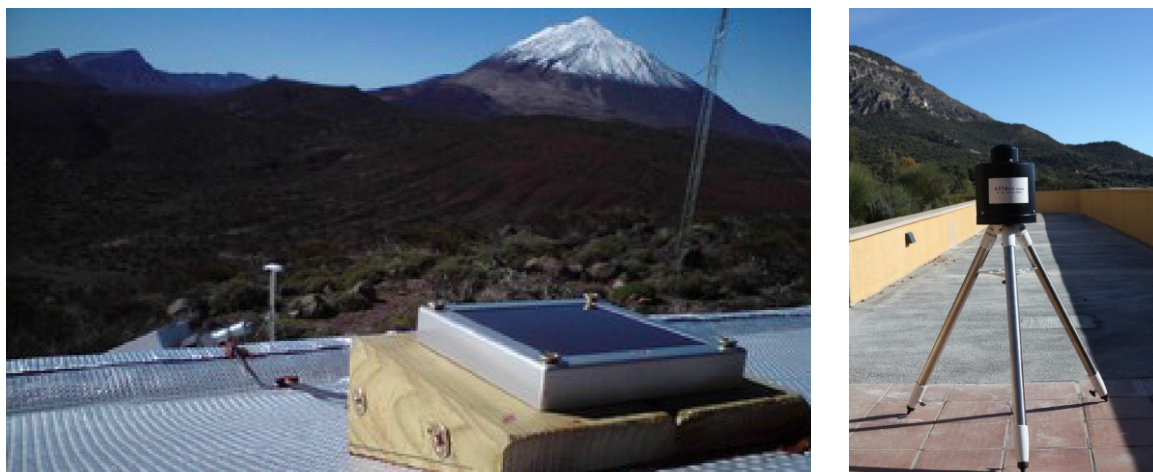
K přesnějšímu určení kvality noční oblohy je ovšem potřeba přístrojové vybavení. Jas noční oblohy lze zjišťovat kalibrovanými měřidly. Oblíbeným přístrojem je jasoměr **Sky Quality Meter (SQM)** vyvinutý kanadskou společností Unihedron. SQM je populární především díky snadnému ovládání, nízkým pořizovacím nákladům, relativně vysoké přesnosti měření a malým rozměrům. Pracovat s ním může i nekvalifikovaný uživatel (Cinzano 2005). Na základě měření s SQM byly vytvořeny mnohé vědecké studie (např. Kyba a kol. 2012; Puschnig a kol. 2014; Puschnig, Posch, Uttenhalter 2014) a kvalifikační práce (např. Kocourek 2014, Hrnčířová 2015, Kocourek 2017, Šén 2018). Funkční jádro SQM tvoří křemíková fotodioda TAOS TSL237S částečně překrytá infračerveným filtrem Hoya CM-500 a měnič typu světlo-frekvence (de Miguel a kol. 2017). Efektivní zorné pole SQM je zhruba 84°. Jeho spektrální odezva je podobná lidskému oku s nejvyšší odezvou při vlnových délkách 520 nm (obr. 32, Cinzano 2005), nicméně vzhledem k širší snímaného spektra nedokáže rozeznat jednotlivé zdroje záření (Hänel a kol. 2018). Výstupem měření je jas v MSA ( $\text{mag/arcsec}^2$ ). Stupnice je logaritmická, proto i malé rozdíly hodnot znamenají velký rozdíl jasu (Unihedron 2019). Unihedron (2019) uvádí, že „rozdíl jasu o  $1 \text{ mag/arcsec}^2$  odpovídá násobku  $100^{(1/5)}$  přichozích fotonů, proto jas oblohy nižší o  $5 \text{ mag/arcsec}^2$  znamená 100krát nižší množství přichozích fotonů“. Hodnoty stupnice jsou převrácené, s rostoucími hodnotami MSA jas oblohy klesá. Přesnost měření SQM je  $\pm 10 \%$ , což odpovídá  $\pm 0,1 \text{ mag/arcsec}^2$ . Přístroj dokáže zjistit i teplotu ve stupních Celsia či Fahrenheita (Unihedron 2017).



**Obrázek 32:** Jasoměr SQM-L (vlevo) a spektrální odezva (vpravo) předpokládaná (přerušovaná čára) a zjištěná (čtverce). Převzato z Cinzano (2007) a Cinzano (2005).

Sky Quality Meter je vyráběn v několika modifikacích. **SQM-L** (obr. 32) je jasoměr vybavený čočkou. Jeho zorné pole je zhruba  $20^\circ$  široké (Cinzano 2007). Vzhledem k užšímu snímacímu úhlu, než má základní model SQM, je SQM-L vhodným nástrojem ke zjišťování jasu oblohy v konkrétních směrech a přesnějšímu zaměřování zdrojů rušivého světla. Měření modelem SQM-L je základem praktické části této bakalářské práce. Model **SQM-LE** je disponuje síťovým konektorem Ethernet, a tak je možné měřit v reálném čase a hodnoty jasu oblohy odesílat do počítače. Nastavení umožňuje vybrat interval měření od 1 sekundy po 1 hodinu či určit mezní hodnotu jasu pro zaznamenávání (Unihedron 2018a). Obdobné možnosti nabízí model **SQM-LU** vybavený USB konektorem (Unihedron 2018b) a model **SQM-LR** vybavený konektorem RS232 (Unihedron 2010). Model **SQM-LU-DL** dokáže kromě přenosu dat do počítače přes USB kabel ukládat naměřené hodnoty. Verze s rozšířenou pamětí má kapacitu přes 1 milion záznamů (Unihedron 2019).

**Lightmeter** (obr. 33) je specializovaný jasoměr složený z fotovoltaického článku, zesilovače a analogově digitálního převodníku. Pomocí USB kabelu lze připojit k počítači. Jedná se o téměř bezúdržbové zařízení odolné vůči povětrnostním podmínkám. Dynamický rozsah Lightmeteru umožňuje zjišťovat jas ve dne i v noci. V nejtemnějších podmínkách umožňuje pořizovat záznam každou 1 sekundu (Müller, Wuchterl, Sarazin 2011), nicméně v intervalu osvětlení od  $10 \mu\text{lx}$  do  $200\,000 \text{ lx}$  dokáže zaznamenávat hodnoty jasu ve frekvenci až 10 Hz, tj. 10 záznamů za 1 sekundu, s přesností 1 %. Zorné pole Lightmeteru je  $120^\circ$ , proto je vhodné umístit solární článek ve vodorovné poloze tak, aby byl co nejméně stíněn objekty na horizontu (Hänel a kol. 2018). Po celém světě je rozmístěno několik desítek jasoměrů zapojených do společného projektu zpracování a analýzy dat (Ochi a Wuchterl 2014).



**Obrázek 33:** Lightmeter (vlevo) a ASTMON Lite (vpravo). Převzato z Hänel a kol. (2018).

Kvantifikovat jas a osvětlení oblohy lze také běžně dostupnými **luxmetry a světelnými měřiči**. Vzhledem k jejich omezené citlivosti, která dosahuje u luxmetrů spodní meze 0,1 až 0,01 lux a u světelných měřičů 0,01 až 0,001 cd/m<sup>2</sup>, nejsou vhodnými přístroji pro měření v noci. Speciálně navrženým světelným měřičem pro noční podmínky je **Digilum**. Byl vyvinut Henkem Spoelstrou a výroba probíhá v Německu. Umožňuje zjišťovat jas v rozmezí od 0,1 mcd/m<sup>2</sup> do 20 kcd/m<sup>2</sup> s přesností od 5 % do 20 %. Digilum umožňuje odečítat hodnoty jasu jednou za sekundu a jeho zorné pole je široké zhruba 5° (Hänel a kol. 2018).

Další pozemní metodu, jak kvantifikovat jas oblohy, poskytují **digitální fotoaparáty DSLR (Digital Single-Lens Reflex)** vybavené širokoúhlým objektivem typu fisheye, tj. rybí oko. Nezbytná je kalibrace fotoaparátu, měla by být kalibrována přinejmenším vinětace čočky, geometrická deformace obrazu, barevná citlivost a funkce citlivosti. Kalibrace může být provedena buďto v laboratorních podmínkách se standartními světelnými zdroji anebo přímo pod noční oblohou, každopádně musí být provedena při různých úrovních jasu a délkách expozice. Správnou kalibrací lze dosáhnout přesnosti až 5 %. Pro analýzu jasu je doporučeno nastavit délku expozice 30 s v příměstských oblastech, 2 až 3 minuty v místech s neporušenou oblohou, citlivost ISO 800 až 1600 a používat dálkovou spoušť při pořizování snímku. Data musí být v grafických formátech RAW či FITS, komprimované formáty (např. JPG či PNG) totiž neukládají do pixelů původní hodnoty. Jas oblohy lze extrahovat ze zeleného kanálu barevného systému RGB, k přesnějším výsledkům vede lineární kombinace všech tří barev (Hänel a kol. 2018). V praxi je tento postup přenechán specializovaným softwarům, které snímek převedou na tzv. jasovou mapu. Takovým softwarem je např. DiCaLum (Kolláth, Dömeny 2017) nebo český raw2lum (Hollan 2016).

**All-Sky Transmission Monitor** (ASTMON) je specializovaný přístroj pro určování jasů oblohy. Skládá se z širokoúhlého objektivu typu fisheye se zorným polem  $180^\circ$ , karuselu s optickými filtry, snímače CCD (*Charge-coupled device*), elektronického systému a počítače pro řízení a ukládání dat. ASTMON pracuje plně automaticky, je odolný proti povětrnostním vlivům a je schopný také sám regulovat teplotu a vlhkost uvnitř zařízení. ASTMON je určen pro měření v nočním prostředí. Typická délka expozice je 40 s a 300 s dle vybraného filtru. Po vytvoření snímku je provedena korekce. Ze snímku je odstraněn vliv tmavých siluet, oblačnosti a svit hvězd do magnitudy 6,0, poté je analyzován jas oblohy. Výsledný obraz je uložen do souborů FITS a JPS. Kromě jasů noční oblohy dokáže ASTMON také určit podíl oblačnosti a míru atmosférické extinkce (Aceituno a kol. 2011). Zařízení je vyráběno ve variantách ASTMON Full, který slouží jako nepřetržitá měřicí sanice, ASTMON Lite (obr. 33), který je přenosný, a ASTMON Micro, který má nejmenší rozměry a je vybaven pouze jedním filtrem (Hänel a kol. 2018).

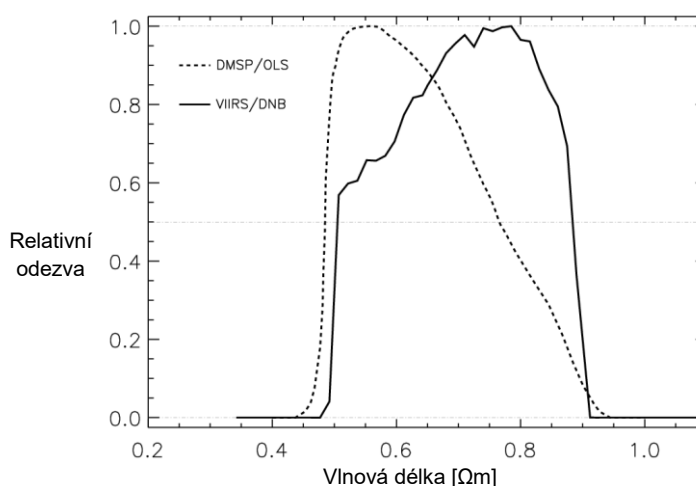
#### 4.5.2 Distanční metody

Metody dálkového průzkumu jsou vhodné ke snímání rozlehlých oblastí a kvantifikaci světelného znečištění až v globálním měřítku. K jejich výhodám patří také pravidelnost, ve které družice Zemi snímají. Problematické může být nízké prostorové rozlišení některých dat. Zaměřit se na konkrétní cíle pomáhají fotografie pořízené z Mezinárodní vesmírné stanice (ISS).

Projekt **DMSP** (*Defense Meteorological Satellite Program*) vznikl v polovině 60. let 20. století pod správou Ministerstva obrany USA, ale až v roce 1972 byl odtajněn a zpřístupněn veřejnosti a vědecké obci (Doll 2008). Program v současnosti disponuje 17 družicemi obíhající Zemi po heliosynchronní dráze. Doba oběhu družice je 101,6 minut, za den tedy oběhne Zemi 14krát (Kramer 2019a). Od roku 1976 jsou družice vybavovány systémem **OLS** (*Operational Linescan System*). OLS je oscilující radiometr snímající povrch v pásmech viditelného spektra s intervalem vlnových délek od 440 do 940 nm (obr. 34; Elvidge a kol. 1997) a termálního spektra s intervalem vlnových délek od 10,0 do 13,4  $\mu\text{m}$  (Cinzano a kol. 2000). Detektory OLS dokáží zachytit velice slabé záření, nicméně prostorové rozlišení pixelu je až 5,4 km (Elvidge a kol. 1997). Mapu nočního světa vytvořil na základě dat DMSP/OLS z let 1974 až 1984 Sullivan (1989) v 10kilometrovém rozlišení, na něj navázali Cinzano, Falchi, Elvidge (2001) atlasem *The world atlas of the artificial night sky brightness*.



28. 11. 2011 byla vypuštěna meteorologická družice **Suomi NPP** (*Suomi National Polar-orbiting Partnership*), která obíhá Zemi po heliosynchronní dráze ve výšce 834 km. Družice Suomi NPP nese radiometr **VIIRS** (*Visible/Infrared Imager/Radiometer Suite*), který snímá Zemi ve 22 pásmech v intervalu vlnových délek od 0,4 po 1,3  $\mu\text{m}$ . Prostorové rozlišení je 0,375 km až 1,6 km dle pásma. Výrazným pokrok oproti OLS představuje filtr **DNB** (*Day/Night Band*) schopný detekce záření o vlnových délkách 505 nm až 890 nm s nejvyšší odezvou při 705 nm (obr. 34; Miller a kol. 2012). Noční snímky jsou pořizovány zhruba v 1:30 místního času (Miller a kol. 2013). Dostupnost nových a podrobnějších dat vyvolala zájem řady výzkumníků a vznikla řada studií porovnávající oba systémy, např. Elvidge a kol. 2007, Elvidge a kol. 2013 či Miller a kol. 2013. S použitím dat VIIRS/DNB byl vytvořen *The new world atlas of artificial night sky brightness* (Falchi a kol. 2016), díky kterému byla také zanalyzována celosvětová úroveň světelného znečištění. Moudrá (2015) kvantifikovala na základě dat VIIRS/DNB světelné znečištění v Česku a porovnávala průměrné hodnoty záře v chráněných územích a oblastech tmavé oblohy.

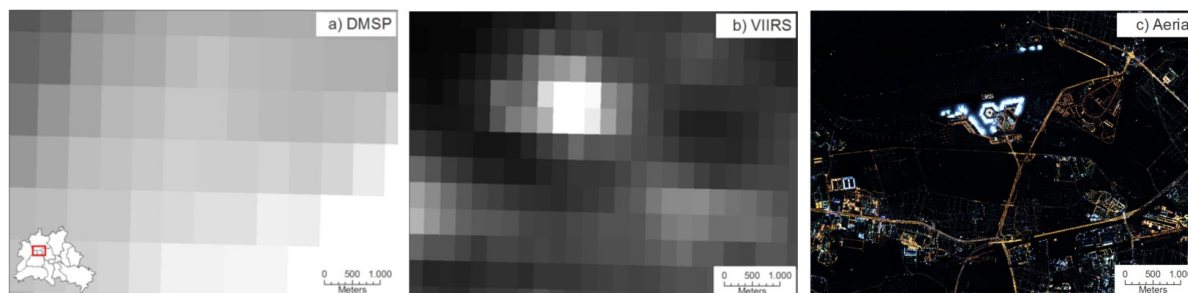


**Obrázek 34:** Srovnání spektrální odezvy senzorů OLS (tečkovaně) a VIIRS s filtrem DNB (plně). Převzato z Miller a kol. (2013).

Další možností, jak mapovat světelné znečištění, jsou **fotografie** pořízené astronauty na Mezinárodní vesmírné stanici (*International Space Station*, ISS). Délka expozice potřebné pro vytvoření nočního snímku a rychlost pohybu ISS ovšem způsobovala neostrost snímků. Během 6. návštěvní expozice byl instalován kompenzátor pohybu obrazu. Snímky pak dosahovaly rozlišení 60 metrů, ale neměly srovnatelný stupeň ostrosti (Elvidge a kol. 2007). Zkvalitnění snímků přinesla v roce 2012 instalace nástroje NightPod do modulu Cupola. NightPod je stativ, který automaticky vyrovnává pohyb ISS, je pohyblivý po čtyřech osách a umožňuje použití velkého počtu fotoaparátů a jiných přístrojů. Rozlišení fotografií dosahuje až 10 metrů (Kramer

2019b). Prohlížení fotografií pořízených na ISS je možné na webové stránce <http://citiesatnight.org/>.

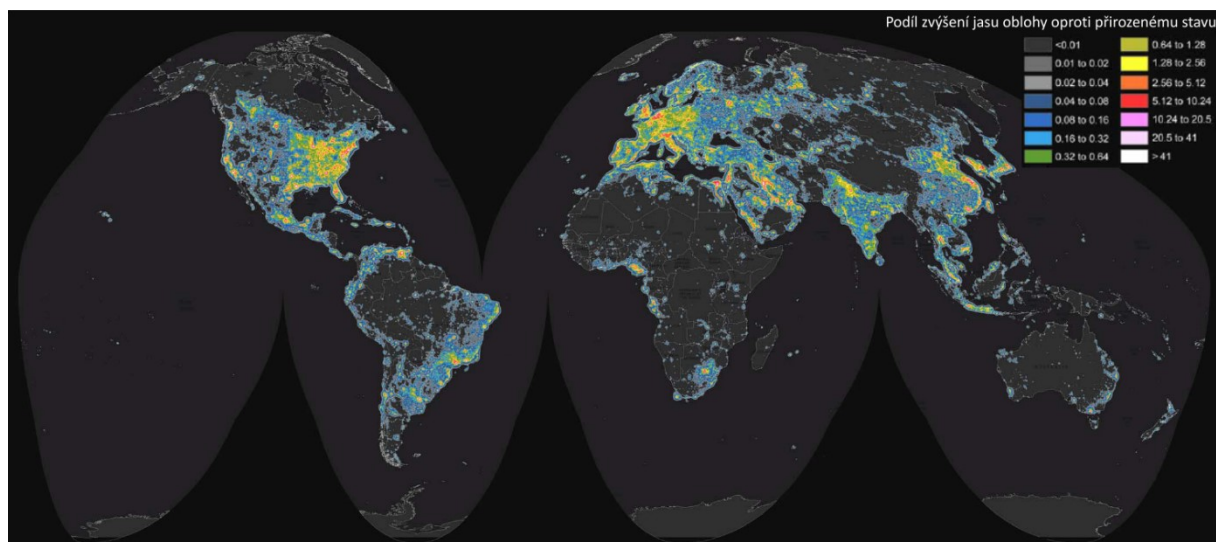
Srovnání prostorového rozlišení dat DMSP/OLS, VIIRS/DMP a fotografie pořízené z ISS je možné pomocí obrázku 35.



**Obrázek 35:** Prostorové rozlišení produktů DMSP (vlevo), Suomi NPP (uprostřed) a fotografie pořízené fotoaparátem z ISS (vpravo) na příkladu berlínského letiště Tegel. Převzato z Kyba a kol. (2015).

## 4.6 Rozšíření a vývoj

Zvyšování míry venkovního osvětlení je úzce propojeno s růstem populace, rozšiřováním měst, hospodářským rozvojem a efektivnější osvětlovací technikou (Bennie a kol. 2014). Již v letech 1996 a 1997 žilo přes 99 % obyvatel USA (s výjimkou Aljašky a Havaje), Evropské Unie (EU; v tehdejší složení) a dvou třetin světové populace v prostředí, jež vykazovalo známky světelného znečištění, tj. jas noční oblohy byl nejméně o 10 % vyšší než přirozený jas. Dvě třetiny obyvatel USA, polovina obyvatel EU a celkově jedna pětina světové populace s průměrně citlivým zrakem neměla možnost vidět ve svém bydlišti Mléčnou dráhu. Například Benátky byly jediným italským městem s počtem obyvatel přes 250 tisíc, kde byla možnost vidět Mléčnou dráhu pouhým okem díky romantizujícímu osvětlení s nízkou intenzitou vyzařování v historickém jádru města. Přes 40 % obyvatel USA, jedna šestina obyvatel EU a celkově jedna třetina světové populace se nedokázala při pohledu na noční oblohu přizpůsobit zrak nočnímu vidění. Konkrétně v Česku žilo pod oblohou s jasnem 9krát vyšším, než je přirozený stav, 22 % populace a zasaženo bylo 0,9 % území Česka (Cinzano, Falchi, Elvidge 2001).



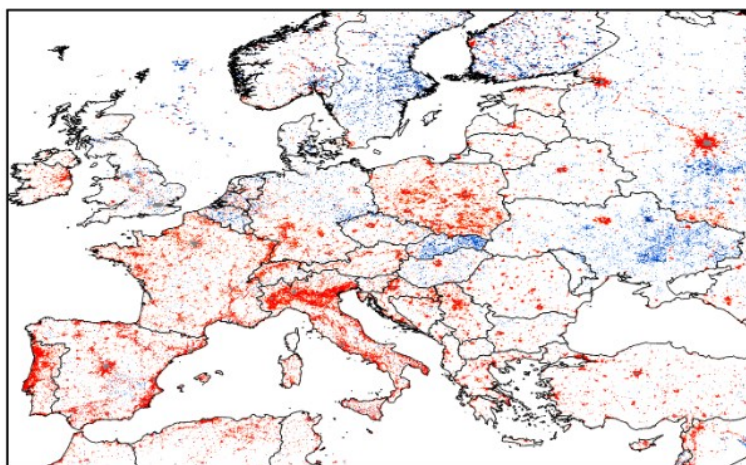
**Obrázek 36:** *Současný stav světelného znečištění ve světě (legenda zvětšena pro lepší čitelnost). Převzato z Falchi a kol. (2016).*

Na základě dat z let 2013 a 2014 bylo zjištěno, že okolo 83 % světové populace a přes 99 % obyvatel USA a Evropanů žije v prostředí postiženém světelným znečištěním (obr. 36), které autoři vymezili jako jas noční oblohy převyšující  $14 \mu\text{cd}/\text{m}^2$ . Například pro obyvatele Paříže to znamená, že musí cestovat přes 900 km na Korsiku, do středního Skotska nebo do španělské provincie Cuenca, aby mohli obdivovat noční oblohu nepoškozenou světelným znečištěním. Mléčná dráha není viditelná pro více než 60 % Evropanů, 80 % Severoameričanů a celkově pro více než jednu třetinu lidské populace. Z hlediska populace je světelným znečištěním zasažen největší podíl obyvatelstva Singapuru (100 %), Kuvajtu (98 %), Kataru (97 %), Spojených arabských emirátů (93 %), Saudské Arábie (83 %), Jižní Korey (66 %), Izraele (61 %), Argentiny (58 %), Libye (53 %) a Trinidadu a Tobagu (50 %). Z hlediska území disponuje největším podílem rozlohy zasažené světelným znečištěním Singapur (100 %), San Marino (100 %), Malta (89 %), Západní břeh Jordánu (61 %), Katar (55 %), Belgie (51 %), Kuvajt (51 %), Trinidad a Tobago (43 %), Nizozemsko (43 %) a Izrael (42 %). K největším producentům světelného znečištění patří hustě osídlené oblasti jako např. delta Nilu, belgicko-nizozemsko-německé pomezí, Pádská nížina, západní pobřeží USA (od Bostonu po Washington), Anglie (od Londýna po Liverpool) a regiony v okolí měst Peking a Hongkong a Tchajwan (Falchi a kol. 2016). Výraznými producenty světelného znečištění jsou také zařízení určená pro těžbu ropy a zemního plynu v Severním moři, Čínském moři a Golfském zálivu, spalování plynu v Nigérii a námořní rybářské flotily (Cinzano, Falchi, Elvidge 2001).

Naopak k nejméně zasaženým oblastem patří především africké státy. Více než tři čtvrtiny obyvatel Čadu, Středoafriické republiky a Madagaskaru žijí pod nepoškozenou noční oblohou. Nejnižší podíl území zasaženého světelným nečištěním má Středoafriická republika (0,29 %), Niue (0,45 %), Somálsko (1,20 %) a Mauretánie (1,40 %). Celkově největší nepoškozené území (99,88 % rozlohy) se nachází v Grónsku. Antarktida byla ze sledování vyjmuta (Falchi a kol. 2016).

Graf zobrazující 20 států s nejvyšším podílem obyvatelstva vystaveným světelnému znečištění je v příloze 1. Graf zobrazující 20 států s nejnižším podílem obyvatelstva vystaveným světelnému znečištění je v příloze 2.

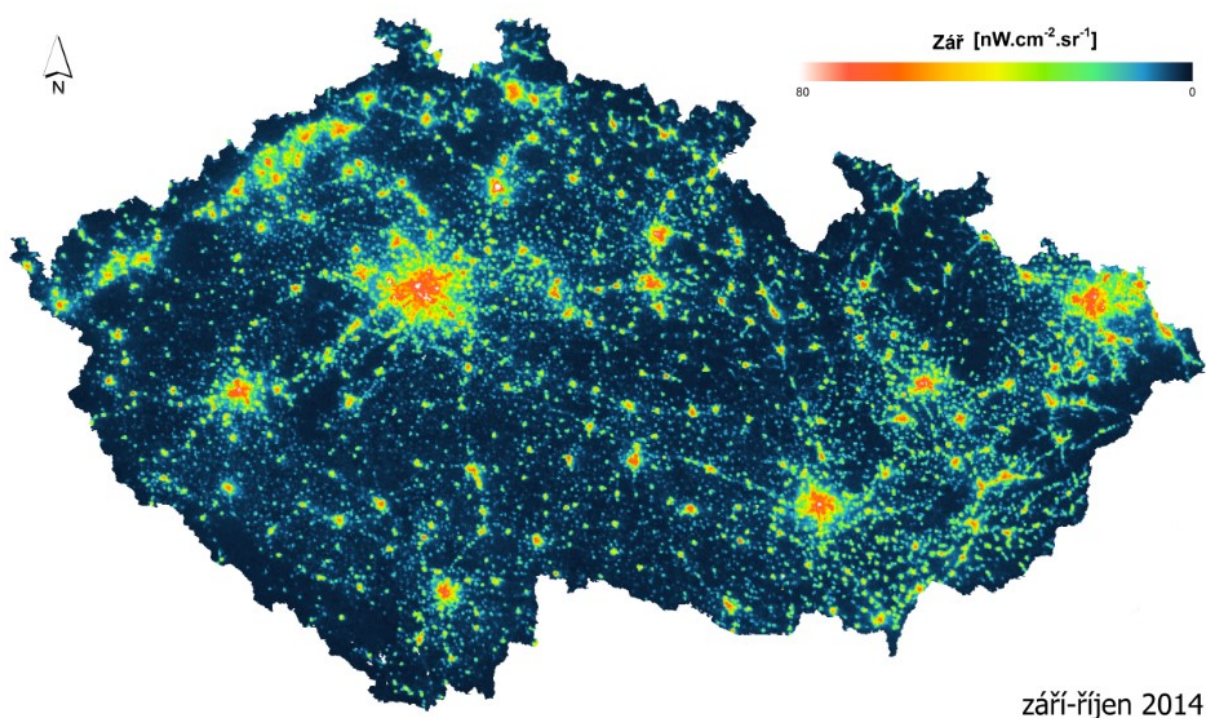
Celosvětový trend rozšiřování světelného znečištění potvrzují i regionální studie. Například v Číně se v 90. letech 20. století rostlo světelné znečištění jen ve velkých městských aglomeracích na východě země, na začátku 21. století byl rostoucí trend zaznamenán až na několik výjimek ve všech čínských městech. Mezi obdobími 2000–2004 a 2008–2012 se plošně světelné znečištění v Číně rozrostlo o 5,64 % (Han a kol. 2014). Nárůst světelného znečištění mezi obdobími 1995–2000 a 2005–2010 byl sledován ve většině evropských státech (obr. 37). Nejvýraznější prostorový růst světelného znečištění postihl Lichtenštejnsko, Portugalsko, Itálii, Maltu a Andorru. Na druhou stranu došlo k úbytku osvětlení v postsovětských státech (Ukrajina, Moldavsko), zemích bývalého východního bloku (Slovensko, Maďarsko) a hospodářsky vyspělých skandinávských státech (Dánsko, Norsko, Švédsko, Finsko). Nejvýraznější úbytek světelného znečištění byl zaznamenán na Slovensku (Bennie a kol. 2014).



**Obrázek 37:** Prostorové změny světelného znečištění v Evropě mezi obdobími 1995–2000 a 2005–2010. Nárůst je znázorněn červeně, úbytek modře. Převzato z Bennie a kol. (2014).



Situaci v Česku (obr. 38) se věnuje v bakalářské práci Moudrá (2015), kde porovnává zenitovou záři v chráněných územích (chráněné krajinné oblasti – CHKO a národní parky – NP) a v oblastech tmavé oblohy s republikovým průměrem. Nejnížší hodnoty průměrné záře byly zjištěny v NP Šumava, CHKO Český les, CHKO Orlické hory, NP České Švýcarsko a CHKO Šumava a jsou srovnatelné s průměrnou září v Jizerské, Beskydské a Manětínské oblasti tmavé oblohy. Naopak nejvyšší průměrná záře byla zjištěna v CHKO Litovelské Pomoraví, která je srovnatelná s republikovým průměrem (Moudrá 2015). Nárůst záře v Česku mezi lety 2013 a 2018 je možné porovnat na základě příloh 3 a 4.



**Obrázek 38:** Průměrná zenitová záře na území Česka. Převzato z Moudrá (2015).

#### 4.7 Negativní dopady na živé organismy

Pokud by světelné znečištění narušovalo pouze temnotu noční oblohy, vzbuzovalo by pravděpodobně jen zájem astronomů a jiných pozorovatelů oblohy. Světelné znečištění má ale mnohem závažnější důsledky. Chepesiuk (2009) ve svém přehledu uvádí např. vyšší riziko rakoviny prsu a tlustého střeva, nespavost, deprese, vliv na rozmnožování mořských želv a žab, migraci ptáků a úhyn nočních motýlů.

Denní rytmus živých organismů je ovlivňován mechanismem, který na základě biochemických reakcí a genů řídí fyziologické procesy a chování jedince. Tento mechanismus se nazývá **cirkardiánní cyklus** či cirkardiánní hodiny (Dunlap 1999). Délka cirkardiánního cyklu u savců je přibližně 24 hodin. Vnější fyzický podnět (tzv. zeitgeber) je světlo. Oči

nezpracovávají pouze přicházející světlo za účelem tvorby obrazu okolí, ale podávají také informaci o ozáření prostředí při rozbřesku a soumraku tak, aby byl neustále „seřizován“ cirkardiánní cyklus. Cirkardiánní cyklus je u savců řízen párovými buňkami v přední části hypothalamu označovanými jako suprachiasmatická jádra (Foster, Hankins 2007). Cirkardiánní cyklus se vyvíjel miliony let na základě přirozeného střídání dne a noci. Přítomnost tmy je pro organismy nezbytná, aby docházelo k produkci melatoninu (Pauley 2004).

**Melatonin** je spánkový hormon a antioxidant zachytávající volné radikály v těle. Melatonin je produkován epifýzou (šišinkou) v epithalamu v temné části dne s maximem mezi druhou a čtvrtou hodinou v noci (Jones a kol. 2015, Pauley 2004). Jeho přítomnost v těle dává orgánům informaci o denním rytmu, což vede k organizaci některých funkcí, jako např. produkce glukózy či imunitní funkce. Narušení přirozeného vylučování melatoninu vede k vyšší pravděpodobnosti onemocnění a větší závažnosti příznaků a průběhu nemoci (Claustrat, Leston 2015), zároveň má melatonin protinádorový a protirakovinný účinek (Schernhammer, Schulmeister 2004). Koncentrace melatoninu v krvi není v nočních hodinách narušena až do osvětlení o hodnotě okolo 80 luxů. Při nárůstu osvětlení nad 200 luxů je však melatonin v krvi téměř dokonale potlačen, proto i malé změny osvětlení v pozdně večerních hodinách mají na koncentraci melatoninu velký vliv (Zeitzer a kol. 2000). Vliv na koncentraci melatoninu v krvi má také vlnová délka světla. Nejvíce je melatonin potlačován při působení modrého světla o vlnové délce 464 nm (Brainard a kol. 2001).

Vystavování se umělému světlu v nevhodný čas zvyšuje oxidační stres v těle, což má vliv na poškození imunitních buněk a jiných tkání, zvýšený výskyt rakoviny a rychlejší stárnutí. Mezi důsledky patří např. poruchy spánku, rizika obezity, žloutenky druhého typu a srdečních potíží (Navara, Nelson 2007). Absence melatoninu v krvi je příčinou vzniku rakoviny. Prokázána byla již souvislost se vznikem rakoviny prsu, tlustého střeva, konečníku, vaječníků, dělohy, prostaty a plic. Zvýšenému riziku rakoviny se vystavují především pracovníci na nočních směnách (Schernhammer, Schulmeister 2004).

Světelné znečištění má také široké negativní dopady na **zvířecí společenstva**. Longcore a Rich (2004) uvádí, že umělé světlo v noci způsobuje dezorientaci, mění reprodukční chování, znemožňuje komunikaci, narušuje kompetitivní a predanční vztahy, což ve výsledku poškozuje ekosystémové funkce. Následující odstavce představují pouze několik konkrétních příkladů působení umělého světla na chování živočichů, širší pohled na problematiku nabízí práce Moudré (2015) a Kocourka (2017).

Například již zmíněné **mořské želvy** (kareta obecná, *Caretta caretta*) si k hnízdění vybírají tmavé pláže a umělé osvětlení je od kladení vajíček odpuzuje (Salmon a kol. 1995a). Umělé světlo vylíhlá mláďata dezorientuje. Mláďata po opuštění hnízda putují místo do moře za světlem a hynou vyčerpáním, dehydratací, uvíznutím v travních porostech, na vozovkách pod koly aut nebo se stávají obětmi suchozemských dravců (Salmon a kol. 1995b). Umělé světlo má také neblahé dopady na **reprodukcí žab** (hvízdalka pěnodějná, *Engstomops pustulosus*). Žabí samečci při vábení samic kvákáním volí raději světlejší prostředí, aby dříve spatřili potenciální predátory. Nicméně žabí samičky preferují vzdálenější kvákání bez rizika spatření predátorem, což pravděpodobně odrazuje samečky od vábení (Rand a kol. 1997).

**Migrující ptáci** jsou v nočním prostředí přitahováni světly ve městech. Letící ptáci následují světlo v interiérech výškových budov a nedokáží vyhodnotit sklo jako překážku. Mnoho ptáků tak zahyne nárazem o skleněnou fasádu, což má také vliv na zachování jejich populací (Odgen 1996). Veřejné osvětlení mění zvyky některých pěvců. U červenky obecné (*Erithacus rubecula*), kosa černého (*Turdus merula*) a sýkory koňadry (*Parus major*) byl zaznamenán časnější zpěv v osvětlených lokalitách, naopak drozd zpěvný (*Turdus philomelos*) začínal se zpěvem později (da Silva, Valcu, Kempenaers 2015).

Mezi **pavouky** není vztah ke světlu jednotný. Nakamura a Yamashita (1997) zjistili, že noční pavouk, křížák *Araneus ventricosus*, je světlem odpuzován (tzv. negativní fototaxe), zatímco denní pavouky, skákavky *Menemerus confusus* a *Hasarius adansonii*, světlo přitahuje (tzv. pozitivní fototaxe). Umělé osvětlení přitahující v noci různé druhy hmyzu umožňuje pavoukům obstarat si snadněji kořist, což je vede častějšímu budování sítí v osvětleném prostředí (Heiling 1999). Například **noční motýli** jsou pod svítidly veřejného osvětlení snadnou kořistí pro pavouky, netopýry či ptáky. Světlo v noci ovlivňuje migrace, rozšíření, rozmnožování a obživu nočních motýlů, což ve výsledku může projevit na velikosti jejich populací (Frank 1988). Nárůst osvětlení pravděpodobně také souvisí s úbytkem výskytu **světlušek**. Světlo z pouličních lamp znemožňuje vzájemnou komunikaci zprostředkovanou světélkováním (Lloyd 1994).

Někteří živočichové, např. malí hlodavci, zajíci, vačnatci, hadi, netopýři či ryby, přijímají při vyšší hladině osvětlení méně potravy (Longcore, Rich 2004). Oblíbeným předmětem výzkumu dopadů světelného znečištění jsou **netopýři**, kteří se živí hmyzem obklopujícím venkovní osvětlení. Blake a kol. (1994) zjistil, že se netopýři hvízdaví (*Pipistrellus pipistrellus*) častěji zdržují v bílém světle rtuťových výbojek, které je atraktivnější pro lovený hmyz než pod sodíkovými výbojkami, které produkují oranžové světlo. Mimoto

světlo rtuťových výbojek snižuje obranyschopnost molů, kteří se pak stávají snadnější potravou netopýrů (Svensson, Rydell 1998). Netopýři (vrápenec malý, *Rhinolophus hipposideros*) se při letu vyhýbají světlu vysokotlakých sodíkových výbojek a mění své pravidelné trasy (Stone, Jones, Harris 2009). Umělé osvětlení také odrazuje některé netopýry (*Carollia sowelli*) od přijímání potravy, jak bylo sledováno v Panamě (Lewanzig, Voigth 2014).

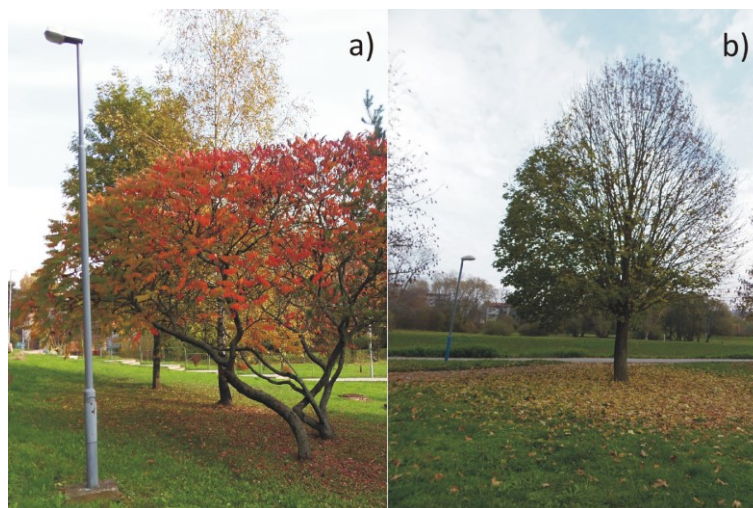
Světelné znečištění ovlivňuje některé cykly **ve vodním prostředí**. Například hrotnatky (*Daphnia retrocurva*), které patří mezi zooplankton, vertikálně migrují k hladině a spásají řasy pouze v tmavých vodách. Absence hrotnatek ve svrchních vrstvách příměstských a městských vod tak přispívá k nárůstu biomasy a snížení kvality vod (Moore a kol. 2001). Sledovány byly také stavy zooplanktonu v závislosti na měsíční fázi. Nejvyšší stavy vykazoval zooplankton během úplňku, nejnižší naopak během poslední čtvrti. Po západu Slunce stoupal zooplankton k hladině, aby se mohl nerušeně živit řasami. Nicméně po východu Měsíce v úplňku byly jeho stavy zdecimovány rybami (Gliwicz 1986). Navzdory přirozenému osvětlení hladiny lze očekávat vyšší četnost tohoto rytmu v člověkem osvětlených oblastech (Longcore, Rich 2004). Zvýšená míra predace byla také pozorována u tuleňů lovcích lososy v řekách Britské Kolumbie při vyšších hladinách osvětlení (Yurk, Trites 2000).

Světlo hraje nenahraditelnou roli ve fyziologii a ekologii **rostlin**. Rostliny využívají světlo jako prostředek pro průběh fotosyntézy a informační zdroj pro řízení cirkardiálních cyklů (Bennie a kol. 2016). Úsek slunečního záření o vlnových délkách 400 až 700 nm, označovaný také jako fotosynteticky aktivní záření (*photosynthetically active radiation*, PAR), vyvolává v chlorofylech a karotenoidech fotosyntézu (Bennie a kol. 2016, Gaston a kol. 2013). Fotosyntéza, při které vzniká kyslík a energeticky bohatá glukóza, má vysoký přínos pro celý ekosystém. Johnson (1979) popisuje tzv. lampenflóru, která je schopná přežívat v jeskyních pod umělými zdroji světla, nicméně se jedná pouze o řasy, mechy a kapradí. Dle Ravena a Cockella (2006) můžou některé rostliny fotosyntetizovat, pokud se nachází v blízkosti umělého osvětlení.

Při umělém osvětlení zůstává fotosyntéza stromů neovlivněna, nicméně umělé světlo narušuje jejich cirkardiální cyklus (také fotoperiodismus). **Stromy** jsou v nočních hodinách nejcitlivější na červené a infračervené záření vlnových délek 625 až 850 nm, které produkují především vysokotlaké sodíkové výbojky a klasické žárovky (Chaney 2002). Nejméně škodlivé jsou v tomto ohledu zářivky, rtuťové a halogenidové výbojky a LED diody (Bennie a kol. 2015, Chaney 2002). Olistění je pod vlivem umělého světla mohutnější a stromy jsou pak náchylnější k vodnímu stresu či poškození imisemi škodlivin v ovzduší. Ohrožené jsou spíše mladé stromy



vykazující intenzivnější a energičtější růst (Chaney 2002). Umělé světlo zásadním způsobem ovlivňuje fenologii stromů. U javoru klenu (*Acer pseudoplatanus* L.) a škumpy orobincové (*Rhus typhina* L.) byl pozorován nástup podzimních fenologických fází opožděných v průměru o 13 až 22 dní. Zbarvení listů se prodloužilo o 6 až 9 dní a listy opadaly o 6 až 7 dní později (obr. 39; Škvareninová a kol. 2017).



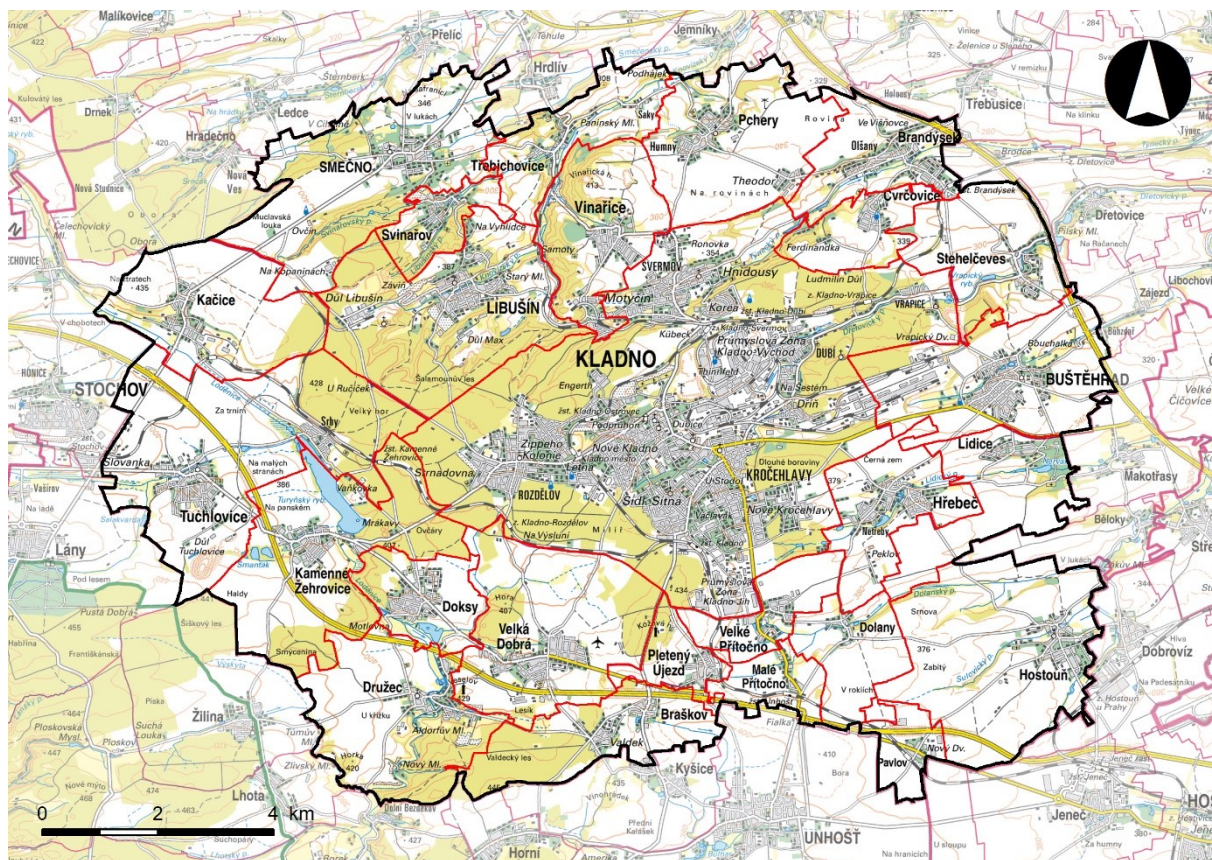
**Obrázek 39:** Zbarvení listů škumpy orobincové (a) a opožděný spad listů vlivem veřejného osvětlení (b). Převzato z Škvareninová a kol. (2017).

Nevhodně navržené osvětlení může poškodit přirozenou potravní pyramidu a deformovat celý **ekosystém**. Bylo prokázáno, že nízkotlaké sodíkové výbojky a částečně i LED diody potlačují populaci mšic (kyjatka hrachová, *Acyrtosiphon pisum*). Rostliny, konkrétně štirovník bažinný (*Lotus pendunculatus*), pak nejsou opylovány, nemůžou vykvést a vytvořit lusky, kterými se živý specializovaní býložravci. Důsledkem nevhodného svícení v přírodním biotopu může být pokles populace býložravců (Bennie a kol. 2015).

## 5 Zájmové území

Zájmové území (obr. 40) se nachází ve Středočeském kraji západně od Prahy. Střed území představuje město Kladno a je obklopeno více než dvěma desítkami obcí. Rozloha studovaného území je 174,06 km<sup>2</sup>.

Oblast byla vymezena na základě polohy měřicích stanovišť (viz Metodika a obr. 52) a její základní skladební jednotkou je území obce. Mezi šesti vnějšími měřicími stanovišti (A, B, C, D, E, F) byly vytvořeny pomyslné linie. Zařazeny byly obce, jejichž území některá z linií protínala, a všechny obce, které leží uvnitř takto vzniklého polygonu, tedy směrem ke Kladnu. Z území byla vyloučena obec Běloky vzhledem k odlehlé poloze, a naopak přiřazeny obce, které přímo ovlivňovaly měření na stanovištích (Brandýsek, Pavlov). Studovaná oblast se skládá jmenovitě z těchto 26 obcí: Brandýsek, Braškov, Buštěhrad, Cvrčovice, Doksy, Dolany, Družec, Hostouň, Hřebeč, Kačice, Kamenné Žehrovice, Kladno, Libušín, Lidice, Malé Přítočno, Pavlov, Pchery, Pletený Újezd, Smečno, Stehelčevy, Svinařov, Třebichovice, Tuchlovice, Velká Dobrá, Velké Přítočno a Vinařice.



**Obrázek 40:** Přehledová mapa zájmového území. Vytvořeno autorem s použitím Základní mapy 1 : 100 000 (ČÚZK 2019) a polygonů obcí (ARCDATA PRAHA, ČSÚ, ČÚZK 2016).

Vzhledem k charakteru světelného znečištění a jeho šíření (viz oddíl 4.2 až 4.4) nelze vytvořené území vnímat jako uzavřenou oblast chráněnou před vnějšími vlivy. Výrazným producentem světelného znečištění na východě je Praha a letiště Praha-Ruzyně (Kocourek 2014, Kocourek 2017), daleko méně pak ovlivňují jas noční oblohy města Hostivice, Nové Strašecí, Slaný, Stochov a Unhošť.

## *5.1 Fyzickogeografická charakteristika*

Zájmová oblast Kladenska je součástí Českého masívu a orogenní jednotky Bohemikum (Cháb, Stráník 2009). Geologické podloží je tvořeno jílovci, pískovci, slepenci a slínovci, na západě území jsou běžné spraše a sprašové hlíny. Lokálně se vyskytují také fylitické droby, břidlice a bazaltické vyvěřeliny (ČGS 2015). Geologickým unikátem oblasti je Vinařická hora, neovulkanický suk miocenního až pliocenního stáří (Demek 1987). Kladensko-rakovnická pánev je vyplněna kladenským souvrstvím, které se skládá ze dvou uhelných slojí překrytých sedimenty české křídové pánve (Chlupáč a kol. 2002). První zmínky o dobývání uhlí v okolí Kladna pochází z roku 1570. Těžba probíhala až do roku 2002, kdy byl ukončen provoz v dolech Schoeller a Tuchlovice (Hájek, Suchomel 2014). Pozůstatkem důlní a průmyslové činnosti je několik výsypek v Kladně a okolí.

V souvislosti se světelným znečištěním je často diskutován charakter reliéfu (Vojtěchovská 2014, Šén 2018). Geomorfologicky je studovaná oblast zařazena do Hercynské oblasti, podoblasti Hercynská pohoří, provincie České vysočiny, Poberounské soustavy a Brdské podsoustavy (Makovčín a kol. 2009). Převážná část území se rozkládá na Pražské plošině, konkrétně na Kladenské tabuli, která je charakteristická parovinným erozně denudačním reliéfem. Kladenská tabule se svažuje od jihozápadu k severovýchodu a je zbrázděna rovnoběžnými údolními přítoky Vltavy. Relativní pravidelnost reliéfu narušují dva terciérní vulkanické suky (v zájmovém území pouze Vinařická hora). Západní okraj území zasahuje do Lánské pahorkatiny, která je součástí Křivoklátské vrchoviny. V zájmovém území představují Lánskou pahorkatinu rozlehlé denudační plošiny s mírnými svahy. Větší členitost reliéfu způsobuje pouze údolí Loděnice. U Kačice zasahuje do zájmového území také nevýrazná část Řevničovské pahorkatiny, která je součástí Džbánu (Demek a kol. 1965, Demek 1987). Nejvyšším bodem studované oblasti je antropogenní výsypka u Tuchlovic s vrcholem v nadmořské výšce 484 m n. m. (ČÚZK 2013). Nejvyšším přirozeným vrcholem je Kožova hora s nadmořskou výškou 456 m n. m. Naopak nejnižším místem zájmové oblasti je bod v nadmořské výšce 247 m n. m., kde Knovízský potok opouští území obce Třebichovice.

Dle Quittovy klasifikace spadá většina území včetně Kladna do teplé klimatické oblasti (T2), pouze jihozápadní část území se nachází v mírně teplé klimatické oblasti (MT11; Quitt 2009). Na základě klimatického normálu 1981 až 2010 se průměrná roční teplota v oblasti pohybuje mezi 8 a 9 °C. Průměrné roční srážky se dosahují 500 až 550 mm v severovýchodní části a 550 až 600 mm v jihovýchodní části území. Na republikové úrovni se tak jedná o srážkově chudší oblast (UVGZ AV ČR 2019).

Celá studovaná oblast se nachází v povodí Vltavy a je odvodňována do Severního moře. Oblast je chudá na povrchové vody, v celostátním měřítku se zde nenachází žádný významný vodní tok ani nádrž. Nejvýraznějším vodním tokem je Loděnice, která odvodňuje západní část území do Berounky. Několik potoků odvádí vodu z východní části území do Zákolanského potoka a poté do Vltavy. Největší vodní plochou je Turyňský rybník, lidově nazývaný Záplavy, s plochou 43 ha na Loděnici (Vlček 1984).

S použitím dat Corine Land Cover (Copernicus 2018) byla v softwaru ArcMap 10.4.1 provedena analýza krajinného pokryvu. Dle zavedené klasifikace jsou nejrozsáhlejšími krajinnými složkami nezavlažovaná orná půda (48,60 % území), smíšený les (16,48 %) a nesouvislá zástavba (14,83 %). Celkově zaujímá zemědělská půda 56,74 % území, lesní porosty 21,72 %, zástavba 19,84 %, vodní plochy 0,37 % a ostatní plochy, jako např. sportovní areály, městská zeleň či skládky, 1,34 %. Prostorové rozložení jednotlivých krajinných složek je znázorněno v příloze 5. Legenda krajinného pokryvu, rozlohy a podíly na celkové rozloze jsou uvedeny v příloze 6.

## 5.2 Sociogeografická charakteristika

Administrativně studovaná oblast (obr. 40) náleží do Středočeského kraje a okresu Kladno. Většina obcí území se nachází ve správním obvodu obce s rozšířenou působností Kladno, pouze Smečno náleží ke Slanému.

K 1. 1. 2018 žije ve vymezené oblasti 104 488 obyvatel. Zhruba dvě třetiny obyvatelstva žijí na Kladně, které čítá 68 804 obyvatel a je největším městem v kraji. Mezi největší sídla patří také Buštěhrad s 3407 obyvateli, Libušín s 3255 obyvateli, Tuchlovice s 2523 obyvateli a Vinařice s 2089 obyvateli. Průměrná hustota zalidnění zájmové oblasti je 594,55 obyv./km<sup>2</sup>, což výrazně převyšuje republikový průměr. Nejvyšší hustotu zalidnění (1861,29 obyv./km<sup>2</sup>) vykazuje samotné Kladno, hustotu zalidnění jednotlivých obcí zachycuje mapa v příloze 7 (ČSÚ 2018b).



Kladensko dlouhodobě vykazuje populační nárůst. Růst obyvatelstva je způsoben především migrací, ale i přirozený přírůstek je kladný (ČSÚ 2018a). V období 2000 až 2017 vykazovaly všechny obce kromě Kladna kladné migrační saldo (Přidalová, Klsák, Nemeškal 2018). Tento jev lze vysvětlit trendem suburbanizace, vztažnými suburbanizačními jádry jsou Praha, Kladno a Slaný (Nemeškal, Ouředníček 2018). Obce východně od Kladna jsou především zázemím Prahy a obce na západ od Kladna náleží do zázemí Kladna, ale i vliv Prahy je zde znatelný. Smečno se nachází v zázemí Kladna i Slaného (Ouředníček a kol. 2018). Dle Nemeškala a kol. (2016) vykazují obce okolo Kladna rezidenční až výrazně rezidenční charakter, kdy je nejvyšší počet obyvatel přítomen v obci v nočních hodinách. Kladno, Malé Přítočno a Pletený Újezd patří mezi obce pracovního a pracovní-obslužného typu s maximem obyvatelstva během dne. Hostouň byla zařazena mezi tranzitní obce s nevýraznými maximy ráno a v podvečer a Buštěhrad se vyznačuje vyrovnaným počtem obyvatelstva během celého dne (Nemeškal a kol. 2016). Kladno a okolní obce mají díky blízkosti Prahy vysoký potenciál rozvoje, dle klasifikace venkova Perlína, Kučerové a Kučery (2010) spadá Kladensko do kategorie rozvojového venkova.

Kladensko je průmyslovým regionem, v minulém století převládal zejména těžební a hutnický průmysl (ČSÚ 2004). Postupně vzniklo v okolí Kladna zhruba 200 uhelných šachet (Gremlica, Zavadil 2015). Útlum těžkého průmyslu se projevil podobně jako v jiných oblastech 90. letech 20. století (ČSÚ 2004). V okrese Kladno se k 31. 12. 2017 se zabývalo 3,2 % ekonomických subjektů lesnictvím a zemědělstvím, 11,1 % průmyslem, 12,3 % stavebnictvím a 24,3 % velkoobchodem a maloobchodem (ČSÚ 2019a). V současnosti patří mezi největší zaměstnavatele regionu např. výrobce hraček LEGO Production s. r. o., Oblastní nemocnice Kladno, a. s., dodavatel pozemních a inženýrských staveb Energie – stavební a báňská, a. s., či pekárny La Lorraine, a. s. (ČSÚ 2019b).

Jižní částí zájmového území prochází dálnice D6 z Prahy do Karlových Varů. Dálnice D7 z Prahy do Chomutova prochází velice malou částí na západě území. Ani jedna z dálnic však neprochází Kladnem, spojnici mezi Kladnem a dálnicemi tvoří silnice I/61. Kladno je napojeno na jednokolejnou neelektrifikovanou železniční trať č. 120 z Prahy do Rakovníka, která je součástí celostátní dráhy. V železniční stanici Kladno se odpojuje regionální železniční trať č. 093 do Kralup nad Vltavou. Ačkoliv Kladno a jeho okolí nedisponuje příliš kapacitní dopravní infrastrukturou, má vlastní městskou hromadnou dopravu a nadstandartní spojení s Prahou.

## 6 Metodika

Metodika praktické části vychází z prověřených postupů terénních měření, které ve svých pracích používá Kocourek (2014, 2017). K zjišťování jas oblohy byl použit přístroj SQM-L (viz oddíl 4.5.1). Při výběru vhodných stanovišť terénního měření a měřicích podmínek byla následována také metodika elektronické databáze SkyQuality.cz (Moudrá 2019).

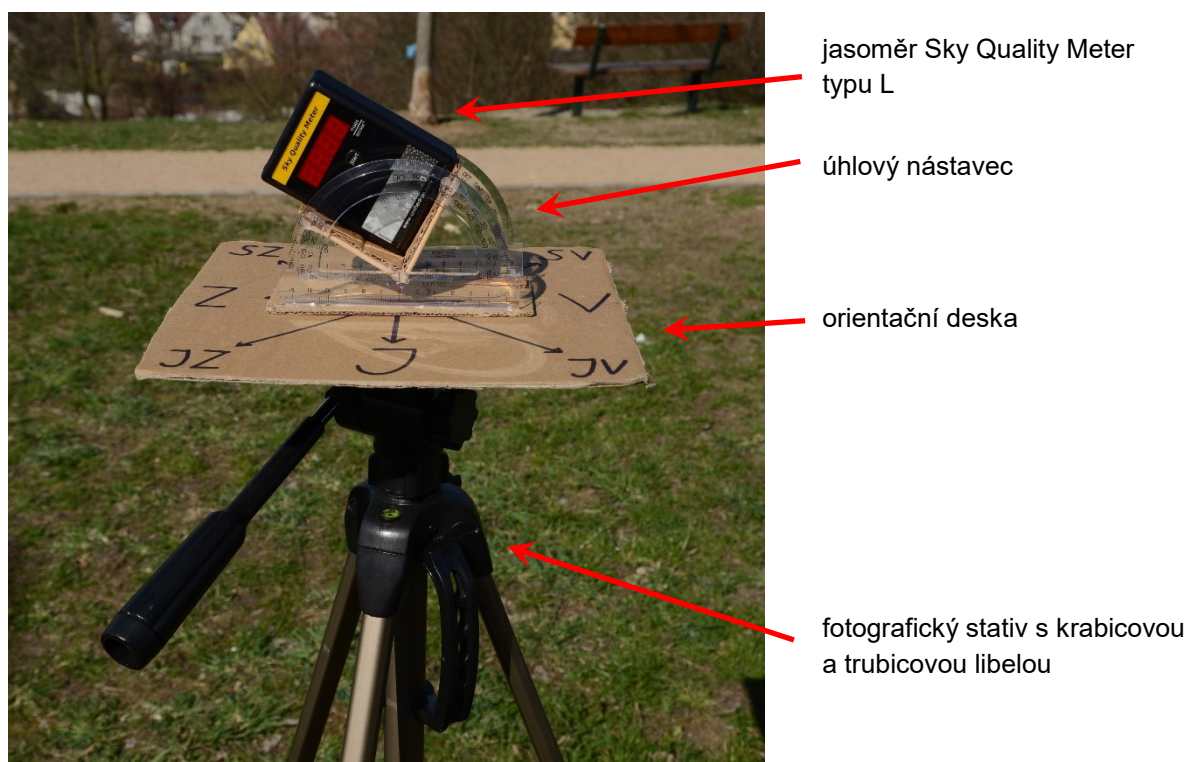
Cílem terénních měření bylo zjistit na několika párových stanovištích jas noční oblohy v zenitu a v zenitových úhlech  $30^\circ$  a  $60^\circ$ , aby bylo možné potvrdit či vyvrátit pracovní hypotézu. Je předpokládán bariérový efekt lesa a je očekáván nižší jas oblohy ve směrových měření ve směru Kladno na stanovištích lesem zakrytých než na stanovištích vůči Kladnu lesem nezakrytých. Blokování světelného znečištění vegetací předpokládal již Luginbuhl a kol. (2009) a na příkladu osvětlení sjezdovek v Krkonoších jej potvrdil Bujalský (2010). Pro porovnávání jasu byl zvolen zenitový úhel  $60^\circ$  (tj.  $30^\circ$  nad horizontem), jelikož dle Kocourka (2014) je nejvhodnější pro lokalizaci světelného znečištění rozmezí  $30^\circ$  až  $40^\circ$  nad obzorem. Měření v úhlech blízkých zenitu (tzn. zenitové úhly  $30^\circ$  a menší) „nemá prakticky žádnou výzkumnou hodnotu, neboť je téměř totožné s hodnotou jasu v zenitu“ (Kocourek 2014, s. 45).

### 6.1 Výroba měřicí aparatury

K uskutečnění terénních měření jasu noční oblohy bylo potřeba vyrobit aparaturu (obr. 41), mezi jejíž funkce patří poskytnutí vztažné vodorovné roviny, ukazatele světových stran a zenitového úhlu (tj. úhlová vzdálenost od nadhlavníku ve stupních). Základem aparatury je **fotografický stativ** vybavený krabicovou a trubicovou libelou. Tripod s nastavitelnou délkou nohou a hlavou seřiditelnou dle libel tak umožňuje vytvořit základ pro vodorovnou rovinu i na nerovném povrchu.

Pro určení světových stran byla z kartonu vytvořena **orientační deska**, na které byla zakreslena směrová růžice s osmi světovými stranami. Orientační desku nebylo potřeba ke stativu nijak upevňovat, správně vycentrovaná držela na hlavě stativu gravitační silou. Nicméně po zkušenosti s měřením ve větru a vratkosti celé aparatury byla na spodní stranu orientační desky připevněna kruhová kovová forma (původně určená k vykrajování vánočního cukroví). Z hlavy stativu byla vyjmuta rychloupínací destička a zabudovanou svorkou uchycena orientační deska.

Nenahraditelnou součástí měřicí aparatury je **úhlový nástavec** umožňující zaměřit jasoměr SQM-L pod určitým zenitovým úhlem k obloze. Úhlový nástavec byl vyroben ze dvou rovnoběžně postavených školních úhloměrů. Úhloměry byly spojeny kartonovou podložkou tak, aby bylo mezi ně možné vložit jasoměr a zjišťovat jas oblohy v zenitovém úhlu 30° nebo 60°. Kartonová podložka tak vytvořila mezi úhloměry pravoúhle zalomené „sedátko“, které bezpečně drží jasoměr v aparatuře a nijak ho nepoškozuje. Aby byl úhlový nástavec stabilnější a pevnější, byl ještě zespodu vyztužen kartonem. Všechny spoje byly provedeny tavící pistolí. Úhlový nástavec volně dosedá na orientační desku, což mu umožňuje libovolné směřování do světových stran.



**Obrázek 41:** Měřicí aparatura a její popis. Vyfotografováno autorem.

Kromě měřicí aparatury bylo nutným vybavením při terénním měření osvětlení (nejlépe čelovka), GPS navigace, kompas, zápisník a tužka.

## 6.2 Výběr měřicích stanovišť

Stanoviště terénního měření byla s ohledem na pracovní hypotézu a vytyčené cíle práce vybrána tak, aby splňovala požadovanou polohu vůči Kladnu. Západní část Kladna Rozdělov je obklopena lesním porostem, zatímco východní část Kročehlavy a průmyslové zóny Kladno-Dřín a Kladno-východ sousedí s polními lány (viz obr. 40, 42, 52).

Pomyslným středem města Kladna byla stanovena křižovatka ulic Cyrila Boudy a Petra Bezruče (N50.1408, E14.0991). Od tohoto bodu byla zaměřována stanoviště vhodná k měření jasů noční oblohy kolem města. Stanoviště byla vybírána ve dvojicích, kde jedno stanoviště z dvojice bylo vůči Kladnu zakryté lesem a druhé nezakryté. Obě stanoviště ve dvojici musela být od středu Kladna v přibližné vzdálenosti a v zrcadlově převráceném světovém směru vůči ose protínající střed severojižním směrem. Nadmořská výška stanovišť nebyla uvažována.

Navzdory stanoveným teoretickým požadavkům nebylo ovšem možné splnit zamýšlenou pravidelnost rozmístění stanovišť. Vzhledem k nutnosti provedení směrových měření bylo žádoucí, aby se stanoviště nacházela na volných prostranstvích, což je v okolí Kladna především zemědělská půda. V blízkosti by se také neměla vyskytovat žádná tmavá silueta (např. stromy, zástavba, vedení vysokého napětí) nebo naopak zdroj světla, který by oslňoval jasoměr.

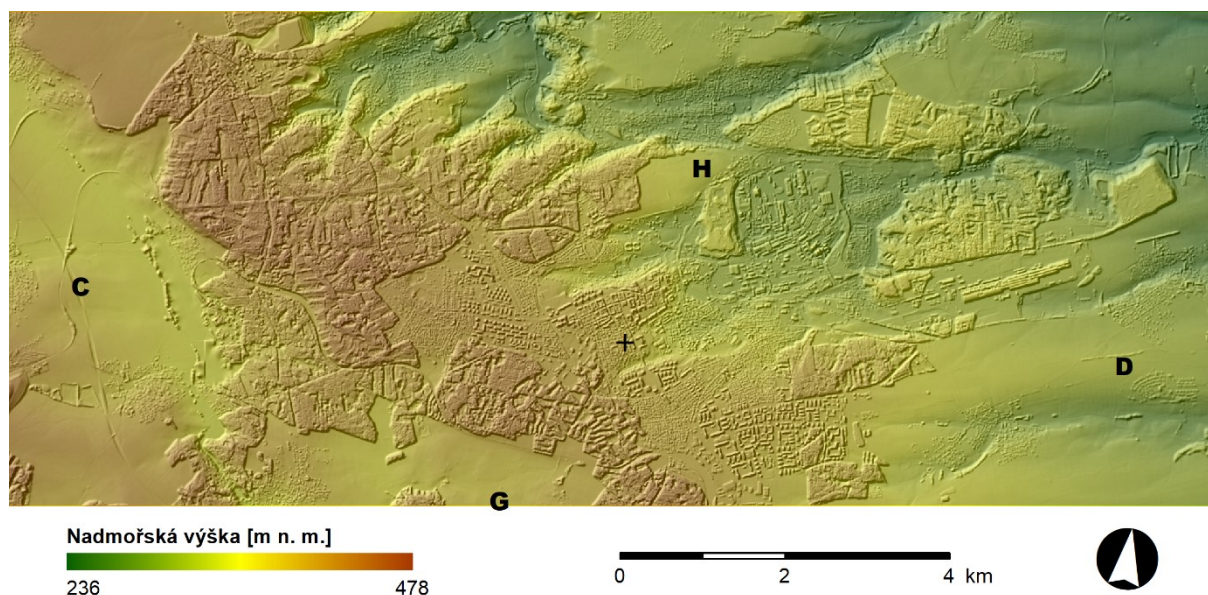
Byly stanoveny tři dvojice stanovišť ve vzdálenosti zhruba 6 až 7 km od středu a jedna dvojice ve vzdálenosti do 3 km. Vybraná stanoviště disponují několika nedostatky. Dvojice stanovišť A – B má vůči středu téměř ideální polohu, nicméně obě stanoviště jsou zakryta lesem. Byla ponechána pro srovnání s ostatními dvojicemi. Azimuty stanovišť E až H se významně odchyľují od světových směrů ke středu Kladna. Tento nedostatek lze argumentovat zorným úhlem jasoměru, který je zhruba 20°, a tudíž vyhodnocuje jas v širším rozmezí, než je jen daný světový směr, a také charakterem města, které je vnímáno jako zdroj světelného znečištění v celé jeho ploše, nikoliv jen v pomyslném středu města určeném pro vyměřování stanovišť. S městem jakožto zdrojem světelného znečištění plošného charakteru pracoval ve svých modelech již Garstang (1986, 1989, 1991a). Ke čtyřem vybraným dvojicím stanovišť bylo připojeno měření uprostřed Kladna pro porovnání zenitových hodnot jasů. Devět stanovišť a jejich poloha je popsána v tabulce 2. Poloha stanovišť je zobrazena na mapě na obrázku 52.

Symbol	Název stanoviště	Souřadnice	Vzdálenost [km] od středu	Azimut od středu	Světová strana
<b>A</b>	Smečno, V Lípách	N50.1857, E14.0285	7,09	315°	SZ
<b>B</b>	Brandýsek, Důl Michal	N50.1840, E14.1672	6,84	45°	SV
<b>C</b>	Tuchlovice, Záplavy	N50.1385, E14.0061	6,62	268°	Z
<b>D</b>	Lidice	N50.1459, E14.1836	6,06	85°	V
<b>E</b>	Družec, V Průhonu	N50.1064, E14.0345	5,96	230°	cca JV
<b>F</b>	Hostouň, Zabítý	N50.1091, E14.1758	6,50	123°	cca JZ
<b>G</b>	Velká Dobrá, Pod Lapákem	N50.1212, E14.0821	2,49	209°	J až JV
<b>H</b>	Kladno, Na Cikánci	N50.1608, E14.1078	2,31	16°	S až SZ
<b>K</b>	Kladno, Sítenské údolí	N50.1392, E14.1031	-	-	-

**Tabulka 2:** Seznam měřicích stanovišť, jejich souřadnice, vzdálenost, azimut a světová strana vzhledem ke středu.



S použitím Digitálního modelu povrchu (DMP; ČÚZK 2013) byly vizualizovány výškové poměry v nejbližším okolí Kladna. Barevnou hypsometrií byla znázorněna absolutní nadmořská výška a výškové rozdíly byly podtrženy stínováním. Dobře patrné je převýšení tvořené lesem jihozápadně, západně a severozápadně od Kladna (obr. 42). Mezi středem a stanovišti C, D, G, H byly pomocí datasetu DMP vytvořeny výškové profily (přílohy 8 až 11).



**Obrázek 42:** Výškové poměry v okolí Kladna, poloha středu (+) a vybraných měřicích stanovišť (C, D, G, H). Vytvořeno autorem s použitím DMP (ČÚZK 2013).

### 6.3 Výběr vhodného termínu pro měření

Pro úspěšné měření bylo kromě výběru vhodného stanoviště nutné zvolit i vhodnou dobu pro měření, aby nedošlo ke zkreslení výsledků nevhodnými astronomickými a meteorologickými podmínkami. Jak ovlivňují vybrané přírodní faktory jas noční oblohy, bylo popsáno v oddíle 4.3.

Vhodné **astronomické podmínky** pro měření spočívají zejména v absenci svitu dvou nejsilnějších přírodních světelných zdrojů, kterými jsou Slunce a Měsíc. Čas měření byl plánován tak, aby byla poloha Slunce více než  $18^\circ$  pod obzorem, tedy v časovém rozmezí mezi astronomickým soumrakem a rozbřeskem. Nicméně dle Lolkemy a kol. (2011) je možné provést měření jasu oblohy bez vlivu Slunce, pokud je již  $15^\circ$  pod obzorem a níže. Zároveň bylo třeba brát v potaz polohu Měsíce, který by měl být již pod obzorem. Další možností bylo také měření při novu, kdy je Měsíc stíněn Zemí vůči Slunci, tudíž může být na obloze, ale neodráží sluneční svit. Poloha Slunce, Měsíce a jiných astronomických objektů na obloze je s bezpečným předstihem známa, tyto informace podává na celý rok dopředu Hvězdárská

ročenka 2019 (Rozehnal a kol. 2018). Po terénních měřeních lze prohlásit, že úspěšná měření nebyla ovlivněna svitem Slunce ani Měsíce.

Neméně důležité jsou **meteorologické podmínky** při měření. Jejich velkou nevýhodou je velká proměnlivost a dlouhodobá nepředvídatelnost. Při měření jasů oblohy bylo nutné se vyhnout přítomnosti sněhové pokrývky, která zvyšuje odrazivost povrchu, a oblačnosti, která odráží záření produkované na Zemi zpět k zemskému povrchu. Na rozdíl od sněhové pokrývky, jejíž stav se vyvíjí v řádu dní, stav oblačnosti je proměnlivý v řádu minut, zejména za větrného počasí. Spolehlivou předpověď oblačnosti zajišťoval numerický model Aladin (ČHMÚ 2019), který předpovídá počasí na následující 2 dny v 3hodinovém kroku. Vzhledem ke směrovým měřením, která pokrývají většinu oblohy, byla tolerována pouze oblačnost velice nízko nad horizontem.

#### *6.4 Postup měření na stanovišti*

Každé plánované stanoviště terénního měření bylo dosaženo s použitím GPS navigace. Po rozložení stativu byla horizontována jeho hlava, aby následně přiložená orientační deska měla vodorovnou pozici a směrové měření mohlo být provedeno v zenitových úhlech 30° a 60°. Kompasem byl zaměřen sever a správně orientována směrová růžice na orientační desce. Po sestavení aparatury byl do zápisníku zaznamenán název a přesná poloha stanoviště, aktuální počasí a orientační čas s přesností 15 minut.

Před samotným měřením byla vždy provedena tři měření „naslepo“, jelikož jasoměr vykazuje první tři hodnoty jasů nižší, než je skutečný jas. Jasoměr SQM-L musí být zároveň vytemperovaný, teplota přístroje musí být při měření stejná jako teplota vzduchu (Moudrá 2019). Zároveň byla provedena kontrola, zda krytka SQM-L není zaprášená, poškrábaná či zarosená. Měření jasoměrem SQM-L je velice snadné, po stisknutí tlačítka START, které je jediným tlačítkem na přístroji, se na displeji zobrazí hodnota jasů v MSA. Druhým stiskem tlačítka jasoměr ukáže aktuální teplotu ve stupních Celsia a třetím stiskem teplotu ve stupních Fahrenheita.

Po kalibraci a kontrole jasoměru bylo zahájeno samotné měření. Nejprve byl zjištěn jas oblohy v zenitu. Směr byl určen pouhým postavením jasoměru na orientační desku. Poté bylo vložení jasoměru do úhlového nástavce zahájeno směrové měření. Nejprve byly zjišťovány hodnoty jasů v zenitovém úhlu 30°. Nástavec byl postupně orientován do světových stran: sever (S), severovýchod (SV), východ (V), jihovýchod (JV), jih (J), jihozápad (JZ), západ (Z) a severozápad (SZ). Poté byla směrová měření provedena pod zenitovým úhlem 60°. Postupně

byly do záznamníku zapisovány hodnoty jasu a průběžně kontrolován kompasem směr světových stran na orientační desce. Stejný postup byl proveden pětikrát za sebou, na jednom stanovišti tak bylo zaznamenáno celkem 45 hodnot jasu. Po provedení všech měření byly zkontrolovány zaznamenané hodnoty, zda v určitém směru nevykazují příliš velký rozptyl. Měření na jednom stanovišti trvalo včetně přípravy okolo jedné hodiny.

## 6.5 *Zpracování a interpretace naměřených hodnot*

Hodnoty jasu získané na jednotlivých stanovištích byly přepsány z papírového zápisníku do tabulkového editoru Excel z balíku aplikací Microsoft Office. Pro zenit a jednotlivé směry byla vypočtena průměrná hodnota jasu. Z pěti hodnot pro určitý směr byla vyřazena nejvyšší a nejnižší hodnota, ze zbylých tří hodnot byl vypočten aritmetický průměr. Pokud byly shodné dvě nejnižší či nejvyšší hodnoty, byla jedna z těchto hodnot zvýšena o jednu setinu MSA a druhá hodnota snížena o jednu setinu MSA (jasoměr SQM-L totiž udává hodnoty jasu s přesností na setiny MSA) tak, aby průměr těchto dvou hodnot zůstal stejný. Poté byl již stejným způsobem vypočten průměrný jas v daném směru.

Na základě průměrných hodnot jasu byl pro každé stanoviště vytvořen směrový graf (také *polární* či *radarový* graf) zobrazující hodnot jasu oblohy v zenitu a v zenitových úhlech 30° a 60° dle osmi světových směrů. Byla použita inverzní stupnice, kdy je uprostřed grafu nejvyšší hodnota MSA (čili nejnižší jas oblohy) a směrem k okrajům se hodnoty snižují. Směrové grafy dokáží vhodně interpretovat rozložení světelného znečištění v okolí stanoviště.

Následně byla porovnávána směrová měření po dvojicích stanovišť ve směru Kladno pod zenitovým úhlem 60° tak, aby bylo patrné, zda les má bariérový efekt při šíření světelného znečištění či nikoliv. Vzhledem k tomu, že stupnice jasu v MSA je logaritmická, museli být porovnávané hodnoty převedeny na jinou stupnici. Pro převod na jas v  $\text{cd/m}^2$  byl aplikován vztah (Unihedron 2018a):

$$L = 10,8 \cdot 10^4 \cdot 10^{(-0,4 \cdot \text{mag})} [\text{cd/m}^2]$$

kde  $L$  je jas v  $\text{cd/m}^2$  a  $\text{mag}$  je jas v MSA. Jelikož byly výsledné hodnoty velice nízké a přesnost se pohybovala v řádu miliontin, byla posunuta desetinná čárka o tři desetinná místa vpravo a hodnoty jasu převedeny na  $\text{mcd/m}^2$ . Poté již byla porovnána směrová měření ve dvojicích, kdy obě směrová měření mířila ke Kladnu a jedno stanoviště bylo vůči Kladnu jako zdroji světelného znečištění zakryté a druhé nezakryté. Vzhledem k atypické poloze stanovišť G a H vůči vymezenému středu Kladna, byly zařazeny do porovnání dva světové směry každého

stanoviště, celkem tedy vznikly čtyři dvojice. Změna byla vyjádřena podílem jasů v mcd/m<sup>2</sup> z nezakrytého a zakrytého stanoviště.

Hodnoty jasů získané na osmi párových stanovištích byly přidány do elektronické databáze SkyQuality.cz, jejímž cílem je mapování jasů noční oblohy. Garantem databáze je Milada Moudrá, která je také autorkou bakalářské práce *Světelné znečištění a ochrana nočního životního prostředí v České republice* (Moudrá 2015).

## 7 Výsledky

Celkem bylo provedeno 13 terénních měření na 10 stanovištích. Vzhledem nevhodným meteorologickým podmínkám muselo být měření opakováno jednou v Lidicích a v Družci dokonce dvakrát. Negativní vliv mělo také oslňující bezpečnostní osvětlení na fasádě skladu u Pavlova (obr. 22), kvůli kterému muselo být následující měření posunuto blíže k Hostouni.

V této kapitole jsou nejprve prezentovány charakteristiky jednotlivých stanovišť a výsledky úspěšných měření, poté je provedena syntéza získaných směrových, ale i zenitových hodnot jasu noční oblohy. Pokud je v textu popisován jas dle světového směru, jedná se vždy o hodnotu získanou pod zenitovým úhlem  $60^\circ$ , neboť je vhodnější pro lokalizaci světelného znečištění než zenitový úhel  $30^\circ$  (Kocourek 2014).

### 7.1 Smečno, V Lípách (A)

Stanoviště Smečno, V Lípách se nachází uprostřed polního lánu v blízkosti města Smečno. Lokalita se nachází v nadmořské výšce zhruba 388 m n. m. na plošině, jejíž severní i jižní svah pokrývá smíšený les. Pole je vklíněno mezi silnice II/236 (úsek Smečno – Kačice) a III/23636 (úsek Smečno – Nová Ves). V poloviční vzdálenosti mezi silnicemi je měřící stanoviště. Zhruba 450 m od stanoviště stojí čerpací stanice Benzina, která je nejbližším zdrojem světelného znečištění. Nejbližšími sídly jsou Smečno (0,9 km), Svinařov (1,5 km) a Ledce (1,8 km). Výrazná světelná záře, kterou produkuje Kladno, je viditelná na jihovýchodě, slabší záři původem ze Slaného je možné rozeznat na severovýchodě a nepatrné zvýšení jasu oblohy se projevuje východním až jihovýchodním směrem, původcem jsou zejména města Nové Strašecí a Stochov.

Měření proběhlo 7. března 2019 po 23:45. Převládal mírný západní vítr, teplota vzduchu se pohybovala okolo  $4^\circ\text{C}$  a měření nebylo narušováno ani oblačností ani svitem měsíce. Průměrný jas oblohy v zenitu byl **20,93 MSA**, což je ze všech stanovišť třetí nejvyšší hodnota. Ve směrových měřeních byla zjištěna nejtemnější obloha zaznamenána v jihozápadním směru (20,50 MSA). Velmi tmavá obloha byla taktéž zjištěna v západním (20,47 MSA) a jižním směru (20,44 MSA). Naopak nejvyšší jas oblohy byl zaznamenán ve východním směru (19,58 MSA), což je jistě způsobeno blízkostí Smečna. Vysoký jas oblohy vykazoval také jihovýchodní směr (19,86 MSA), kde se nachází Kladno, a severovýchodní směr (19,92 MSA), kde se nachází Slaný.

Všechny hodnoty jas oblohy jsou zaznamenány v příloze 12, tabulka 3 zobrazuje průměrné hodnoty jas v zenitu a směrových měřeních. Obrázek 43 prezentuje směrový graf jas oblohy a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění dle světových stran.

Zenitový úhel	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	Zenit
30°	20,82	20,67	20,58	20,68	20,80	20,86	20,87	20,87	20,93
60°	20,30	19,92	19,58	19,86	20,44	20,50	20,47	20,40	

**Tabulka 3:** Průměrné hodnoty jas noční oblohy v zenitu a ve směrových měřeních na stanovišti Smečno, V Lípách (A). Všechny hodnoty jas jsou uvedeny v MSA.

## 7.2 Brandýsek, Důl Michal (B)

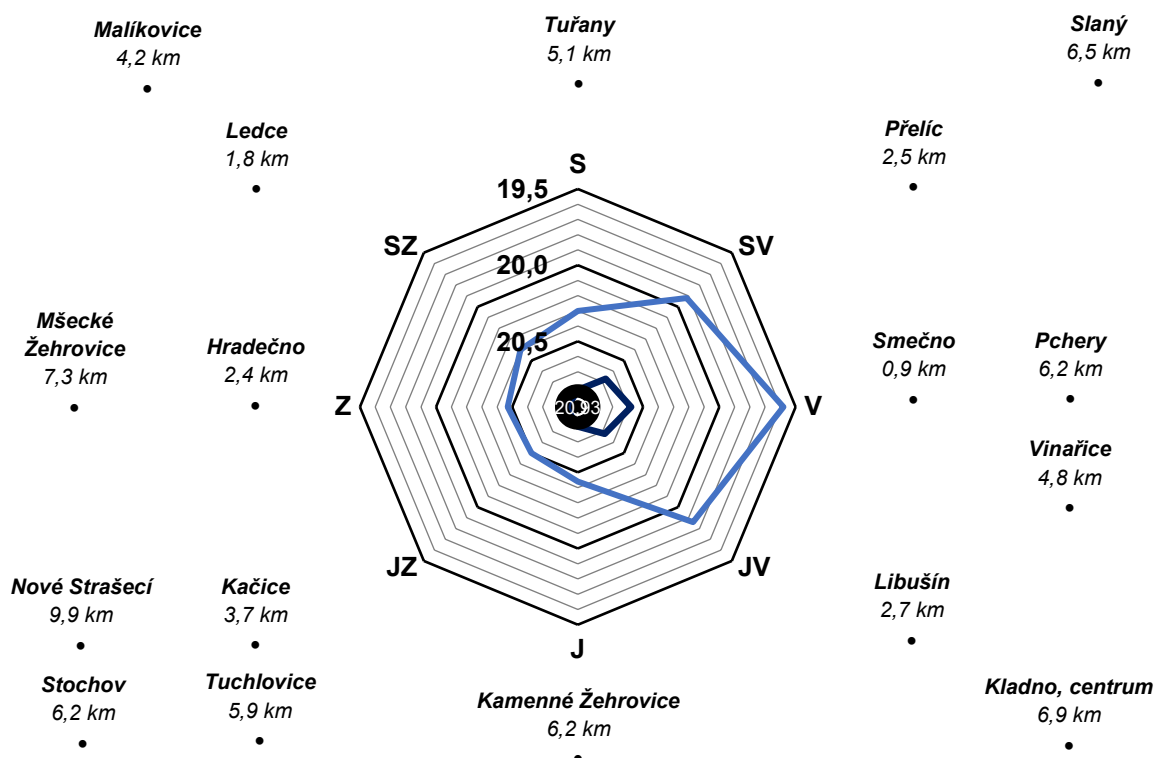
Ačkoliv se toto stanoviště nachází ve skutečnosti v katastru obce Cvrčovice, z důvodu blízkosti zástavby Brandýsku byl ponechán název Brandýsek, Důl Michal. Stanoviště se nachází v nadmořské výšce zhruba 294 m n. m. a je tak nejnižší položeným měřicím stanovištěm. Měření proběhlo na mírně svažitém poli omezeném severovýchodně zástavbou Brandýsku, jihovýchodně zástavbou Cvrčovic a z východní strany je ohraničeno železniční tratí Kladno – Kralupy nad Vltavou. Na stanoviště je pohodlný přístup po polní cestě spojující obě obce. Nejbližšími sídly jsou Brandýsek (0,3 km), Cvrčovice (0,9 km), Kladno-Vrapice (1,7 km) a Stehelčevy (1,9 km). Na jihovýchodě je viditelná výrazná ale prostorově koncentrovaná záře produkovaná Prahou a letištěm Praha-Ruzyně. Západně od stanoviště lze pozorovat zvýšený jas oblohy způsobený Kladnem. Severozápadním směrem lze pozorovat dvě červená blikající signální světla větrných elektráren u Pcher (3,0 km).

Měření proběhlo 10. března 2019 po půlnoci za větrného počasí. Jas oblohy nebyl ovlivněn oblačností ani svitem měsíce, teplota vzduchu se pohybovala okolo 5 °C. Byl zjištěn průměrný jas oblohy v zenitu **20,66 MSA**. Nejtemnější obloha byla zjištěna severním směrem (19,80). Nejvyšší jas oblohy byl zaznamenán na jihovýchodě (19,09 MSA). Velký podíl na zvýšení jas nese i blízkost Brandýsku východním směrem (19,31 MSA).

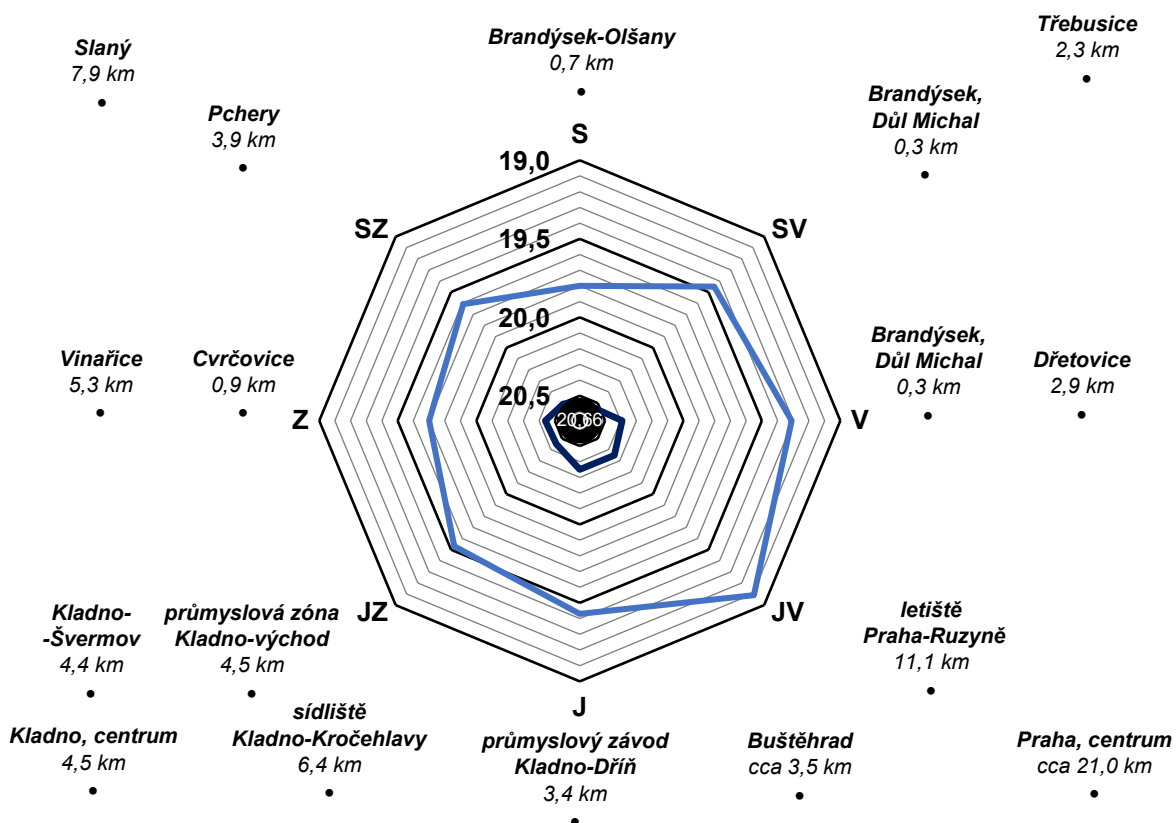
Všechny hodnoty jas oblohy jsou zaznamenány v příloze 13, tabulka 4 zobrazuje průměrné hodnoty jas v zenitu a směrových měřeních. Obrázek 44 prezentuje směrový graf jas oblohy a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění dle světových stran.

Zenitový úhel	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	Zenit
30°	20,54	20,54	20,39	20,35	20,25	20,45	20,44	20,51	20,66
60°	19,80	19,45	19,31	19,09	19,43	19,53	19,70	19,61	

**Tabulka 4:** Průměrné hodnoty jas noční oblohy v zenitu a ve směrových měřeních na stanovišti Brandýsek, Důl Michal (B). Všechny hodnoty jas jsou uvedeny v MSA.



**Obrázek 43:** Směrový graf znázorňující jas oblohy v zenitu (černě) a zenitových úhlech 30° (tmavě modře) a 60° (světle modře) na stanovišti Smečno, V Lípách (A) a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění. Zpracováno autorem.



**Obrázek 44:** Směrový graf znázorňující jas oblohy v zenitu (černě) a zenitových úhlech 30° (tmavě modře) a 60° (světle modře) na stanovišti Brandýsek, Důl Michal (B) a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění. Zpracováno autorem.

### 7.3 Tuchlovice, Záplavy (C)

Stanoviště Tuchlovice, Záplavy se nachází na mírném návrší pokrytém zemědělskou půdou v nadmořské výšce zhruba 397 m n. m. Polní lán se svažuje na severu k Tuchlovickému potoku a na východě k Turyňskému rybníku (lidově nazývanému Záplavy). Západně od stanoviště prochází dálnice D6 z Prahy do Chebu a jižní okraj pole sousedí se zástavbou Kamenných Žehrovic. Lokalita je snadno dostupná po polní cestě spojující silnici III/2382 (úsek Tuchlovice – Srby) a obec Kamenné Žehrovice. Při měření je nutné brát v úvahu tři linie vedení vysokého napětí, které lokalitou prochází, a zaujmout takové místo, aby vedení nezavazelo v zorném poli jasoměru. Nejbližšími sídly jsou Tuchlovice (1,1 km), Srby (1,2 km), které ovšem svojí rozlohou a populační velikostí nepředstavují zvlášť výrazný zdroj světelného znečištění, a Kamenné Žehrovice (1,4 km). Ze stanoviště je dobře patrná světelná záře nad Kladnem, ale i veřejné osvětlení v 3,5 km vzdáleném Stochově. Naopak kvalitní noční oblohu je možné pozorovat jižním a jihozápadním směrem, kde se rozkládají slabě zalidněné křivoklátské lesy. Na stanovišti také dochází k občasnému oslnění světlometry aut projíždějících po dálnici, ale vzhledem k nízké intenzitě nočního provozu se lze tomuto problému snadno vyhnout.

Měření proběhlo 15. února 2019 po 3:45 brzy po západu Měsíce. Noc byla bezoblačná a bezvětrná, teplota vzduchu se pohybovala okolo 0 °C. Průměrný jas oblohy v zenitu byl **20,94 MSA**, což je druhý nejnižší jas v zenitu ze všech stanovišť. Ve směrových měřeních byl nejnižší jas zjištěn jižním (20,44 MSA) a jihozápadním (20,37 MSA) směrem, kde se nachází CHKO Křivoklátsko, a západním směrem (20,28 MSA). Nejjasnější obloha byla zaznamenána východním směrem (19,71 MSA), kde se rozkládá Kladno, poté severovýchodním (19,97 MSA) a jihovýchodním směrem (20,22 MSA).

Všechny hodnoty jasu oblohy jsou zaznamenány v příloze 14, tabulka 5 zobrazuje průměrné hodnoty jasu v zenitu a směrových měřeních. Obrázek 45 prezentuje směrový graf jasu oblohy a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění. Výškový profil mezi středem Kladna a stanovištěm Tuchlovice, Záplavy s výraznou lesní bariérou zobrazuje příloha 8.

Zenitový úhel	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	Zenit
30°	20,79	20,65	20,63	20,73	20,83	20,86	20,81	20,84	20,94
60°	20,25	19,97	19,71	20,22	20,44	20,37	20,28	20,32	

**Tabulka 5:** Průměrné hodnoty jasu noční oblohy v zenitu a ve směrových měřeních na stanovišti Tuchlovice, Záplavy (C). Všechny hodnoty jasu jsou uvedeny v MSA.



## 7.4 Lidice (D)

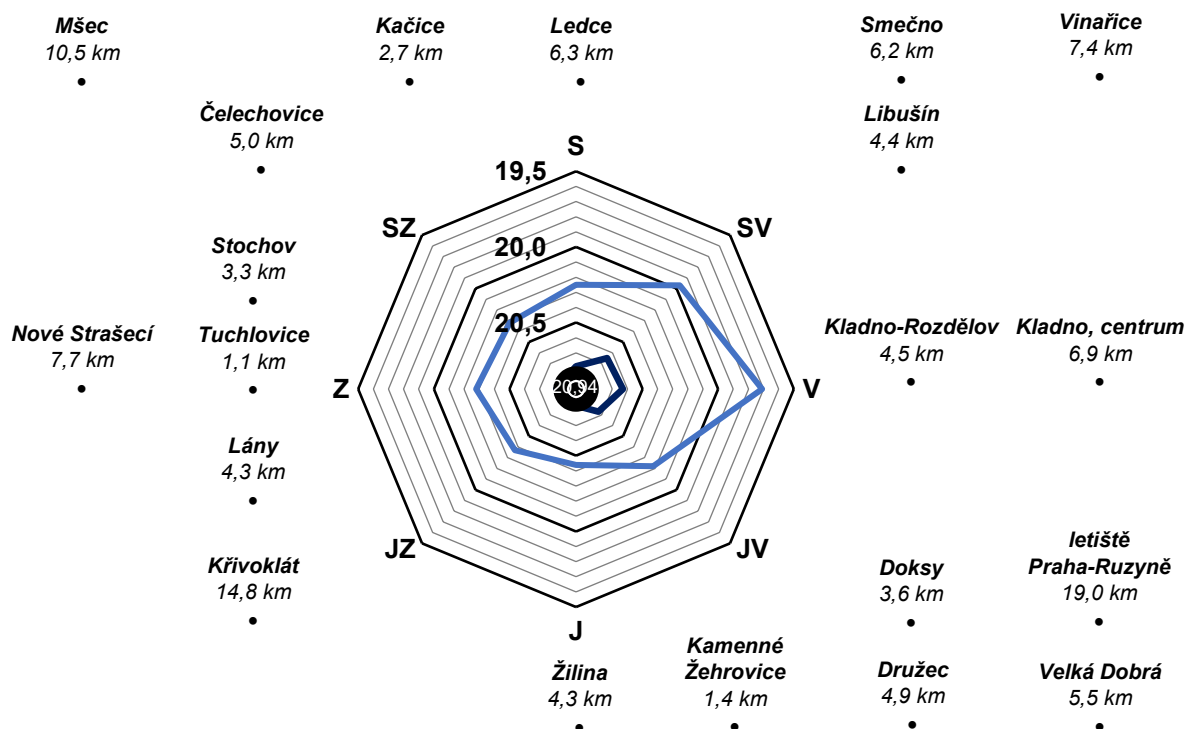
Stanoviště Lidice se nachází na polním lánu v blízkosti zástavby stejnojmenné obce. Nadmořská výška stanoviště je zhruba 367 m n. m. Pole má protáhlý tvar západovýchodního směru a mírně se svažuje jižním směrem do údolí Lidického potoka. Ze severu je lokalita ohraničena stromovým větrolamem, který dělí pozemky zemědělské půdy, a z jihu cyklostezkou lemovanou mladou alejí. Právě z cyklostezky se lze snadno dopravit na stanoviště. Stejně jako u Tuchlovic, i blízko tohoto stanoviště probíhá vedení vysokého napětí, proto je nutné dbát na správné směřování jasoměru. Nejbližšími sídly jsou Lidice (0,3 km), Buštěhrad (0,6 km) a Hřebeč (1,7 km). Stanoviště se nachází mezi dvěma výraznými zdroji světelného znečištění. Silnou světelnou záři produkovanou letištěm Praha-Ruzyně a samotnou Prahou lze pozorovat na jihovýchodě a slabší záři produkovanou Kladnem na západě. Přímo ze stanoviště lze pozorovat zástavbu sídliště Kladno-Kročehlavy. Zdrojem oslnivého světla je 1,6 km vzdálená sochorová válcovna v Kladně-Dříně (obr. 22). Oslnivý efekt tlumí větrolam severně od stanoviště.

Měření proběhlo 8. března 2019 po 1:15. Vál mírný západní vítr a teplota vzduchu byla zhruba 4 °C. Byl zjištěn průměrný jas oblohy v zenitu **20,36 MSA**, jde tedy o jedno ze stanovišť s nejjasnější oblohou. Nejnižší jas oblohy byl zaznamenán na severu (19,83 MSA), vliv na nízký jas může nést i již zmíněný větrolam. Nízký jas byl zaznamenán také na jihu (19,75 MSA) a jihozápadě (19,69 MSA), kde se nenachází velká sídla či průmyslové podniky, a severozápadě (19,69 MSA). Nejvyšší jas oblohy byl zjištěn východním směrem (19,10 MSA). Tento jev ale nelze opodstatnit významným zdrojem světelného znečištění v daném směru, možný je také vliv vysoké oblačnosti. Vysoký jas oblohy vykazoval jihovýchodní směr (19,21 MSA), kde se rozkládá Praha, a západní směr (19,54 MSA), kde se nachází Kladno.

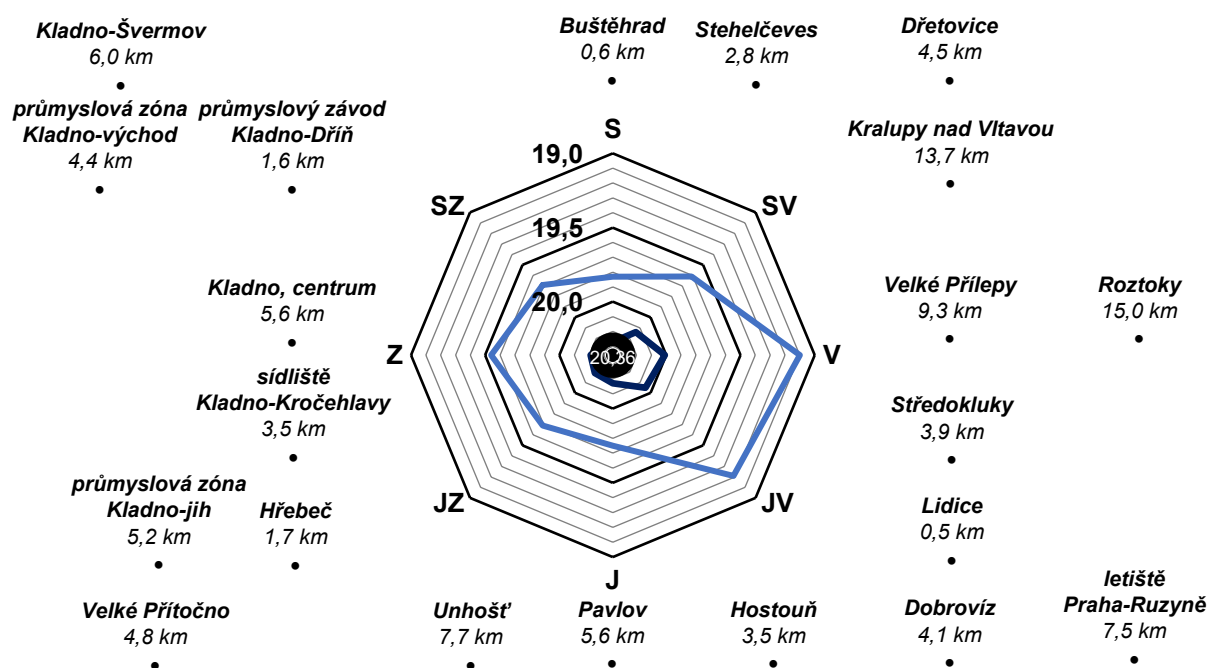
Všechny hodnoty jasu oblohy jsou zaznamenány v příloze 15, tabulka 6 zobrazuje průměrné hodnoty jasu v zenitu a směrových měřeních. Obrázek 46 prezentuje směrový graf jasu oblohy a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění. Výškový profil mezi středem Kladna a stanovištěm Lidice zobrazuje příloha 9.

Zenitový úhel	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	Zenit
30°	20,27	20,14	20,01	20,05	20,17	20,19	20,21	20,26	20,36
60°	19,83	19,61	19,10	19,21	19,75	19,69	19,54	19,69	

**Tabulka 6:** Průměrné hodnoty jasu noční oblohy v zenitu a ve směrových měřeních na stanovišti Lidice (D). Všechny hodnoty jasu jsou uvedeny v MSA.



**Obrázek 45:** Směrový graf znázorňující jas oblohy v zenitu (černě) a zenitových úhlech 30° (tmavě modře) a 60° (světle modře) na stanovišti Tuchlovice, Záplavy (C) a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění. Zpracováno autorem.



**Obrázek 46:** Směrový graf znázorňující jas oblohy v zenitu (černě) a zenitových úhlech 30° (tmavě modře) a 60° (světle modře) na stanovišti Lidice (D) a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění. Zpracováno autorem.

## 7.5 Družec, V Průhonu (E)

Stanoviště Družec, V Průhonu se nachází na výrazném návrší mezi obcemi Družec a Žilina. S nadmořskou výškou zhruba 408 m n. m. tak jde o nejvýše položené stanoviště. Stanoviště se nachází na poli, které se svažuje východním směrem k silnici III/2016 (úsek Družec – Doksy), pak dále až do údolí Loděnice, a západním směrem do údolí potoka Výskyta. Ze severu je lokalita ohraničena částečně lesem a částečně dálnicí D6, z jihu pak silnicí III/1161, ze které se odpojuje polní cesta procházející blízko stanoviště. Nejbližšími sídly jsou Družec (0,9 km), Doksy (1,5 km) a Žilina (2,0 km). Nepřehlédnutelnou dominantu na východě tvoří Kožova hora (456 m n. m.). Severovýchodním směrem je patrná zář nad Kladnem, pozorovat lze také záři produkovanou Prahou na východě. Celkově se jedná o světle nerušenou lokalitu s dobrými podmínkami pro měření.

Měření proběhlo 5. března 2019 po 22:15. Obloha byla bezoblačná a tma nebyla rušena svitem Měsíce. Teplota vzduchu byla zhruba 1 °C. Průměrný jas oblohy v zenitu byl **20,98 MSA**, jedná se tak o „nejtmavší“ stanoviště ze všech. Tmavá obloha byla zjištěna také jihozápadním (20,54 MSA), jižním (20,50 MSA) a západním (20,41 MSA) směrem, kde se nenachází žádná významná sídla ani průmyslové podniky, nýbrž rozsáhlé lesy v CHKO Křivoklátsko. Nejjasnější obloha byla zjištěna na východě (19,40 MSA), směrem k Praze a letišti Praha-Ruzyně, a na severovýchodě (19,45 MSA), směrem ke Kladnu.

Všechny hodnoty jasu oblohy jsou zaznamenány v příloze 16, tabulka 7 zobrazuje průměrné hodnoty jasu v zenitu a směrových měřeních. Obrázek 47 prezentuje směrový graf jasu oblohy a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění.

Zenitový úhel	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	Zenit
30°	20,70	20,64	20,64	20,81	20,86	20,82	20,82	20,81	20,98
60°	19,91	19,45	19,40	20,34	20,50	20,54	20,41	20,22	

**Tabulka 7:** Průměrné hodnoty jasu noční oblohy v zenitu a ve směrových měřeních na stanovišti Družec, V Průhonu (E). Hodnoty jasu jsou uvedeny v MSA.

## 7.6 Hostouň, Zabítý (F)

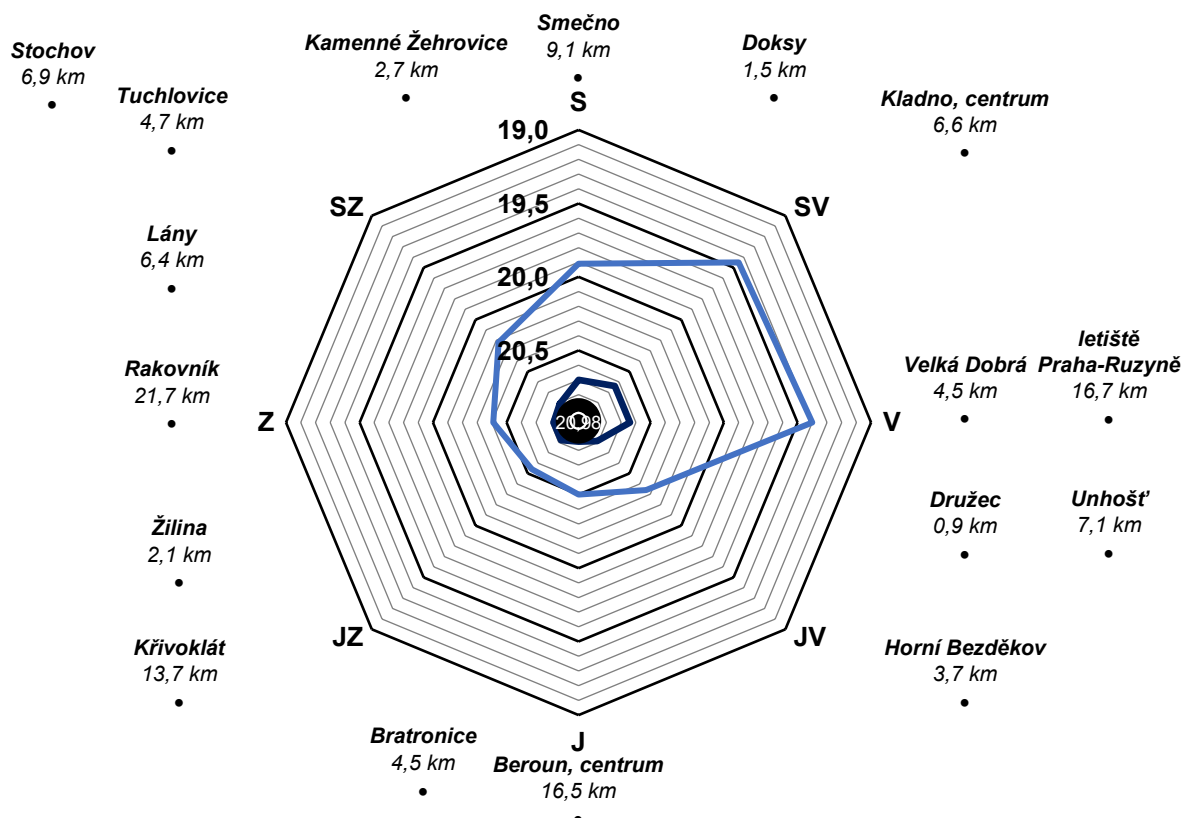
Stanoviště Hostouň, Zabítý se nachází v rovinatém terénu uprostřed rozsáhlého polního lánu. Nadmořská výška stanoviště je zhruba 381 m n. m. Lokalita je omezená ze severu silnicí III/0075 (úsek Hostouň – Dolany), kterou severozápadně od stanoviště lemuje mohutný stromový větrolam. Jižně od stanoviště protéká mělkým údolím Sulovický potok, který je obklopen pásem listnatých stromů. Nejbližšími sídly jsou Pavlov (1,6 km), Hostouň (1,9 km) a Dolany (1,9 km). Na stanovišti je patrný silný vliv světelného znečištění produkovaného letištěm Praha-Ruzyně vzdáleném zhruba 6,5 km východním směrem. Kladno, které se nachází severovýchodním směrem, produkuje v porovnání s letištěm nevýraznou světelnou září. Významným světelným znečišťovatelem je také 1,1 km vzdálený sklad léčiv u Pavlova (obr. 22), který bezpečnostními svítidly na fasádě oslňuje blízké okolí objektu. Světla jsou viditelná ze stanoviště, nicméně vliv na kvalitu měření nemají.

Měření proběhlo 27. února 2019 po 1:00. Teplota vzduchu byla zhruba 3 °C a jas oblohy nebyl rušen svitem Měsíce ani oblačností. Byl zjištěn průměrný jas oblohy v zenitu **20,27 MSA**, což je vzhledem k ostatním stanovištím nízká hodnota. Nejtmavší obloha byla zaznamenána na severu (19,59 MSA), západě (19,55 MSA) a jihu (19,49 MSA). Naopak nejjasnější obloha byla zjištěna na východě (18,88 MSA), kde se nachází letiště Praha-Ruzyně, poté na jihovýchodě (19,36 MSA) a severovýchodě (19,38 MSA), což dobře reflektuje prostorový rozsah hlavního města.

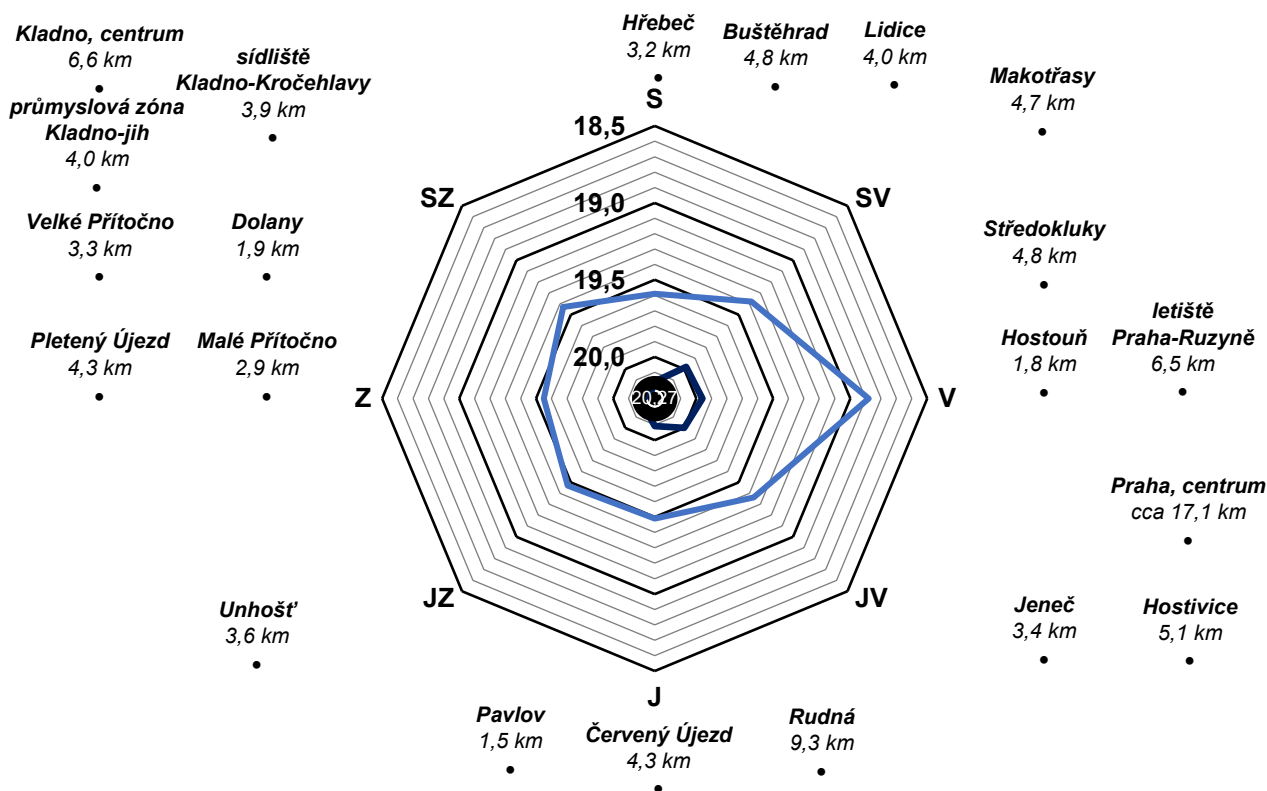
Všechny hodnoty jasu oblohy jsou zaznamenány v příloze 17, tabulka 8 zobrazuje průměrné hodnoty jasu v zenitu a směrových měřeních. Obrázek 48 prezentuje směrový graf jasu oblohy a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění dle světových směrů.

Zenitový úhel	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	Zenit
30°	20,16	19,98	19,96	20,00	20,09	20,18	20,19	20,23	20,27
60°	19,59	19,38	18,88	19,36	19,49	19,47	19,55	19,43	

**Tabulka 8:** Průměrné hodnoty jasu noční oblohy v zenitu a ve směrových měřeních na stanovišti Hostouň, Zabítý (F). Všechny hodnoty jasu jsou uvedeny v MSA.



**Obrázek 47:** Směrový graf znázorňující jas oblohy v zenitu (černě) a zenitových úhlech 30° (tmavě modře) a 60° (světle modře) na stanovišti Družec, V Průhonu (E) a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění. Zpracováno autorem.



**Obrázek 48:** Směrový graf znázorňující jas oblohy v zenitu (černě) a zenitových úhlech 30° (tmavě modře) a 60° (světle modře) na stanovišti Hostouň, Zabítý (F) a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění. Zpracováno autorem.

## 7.7 Velká Dobrá, Pod Lapákem (G)

Stanoviště Velká Dobrá, Pod Lapákem se nachází v mírné depresi v oblasti pramenů Rozdělovského potoka. Lokalita je omezená na východě Kožovou horou (456 m n. m.), ze severu lesem nazývaným Lapák a ze západu Horkou (407 m n. m.). Stanoviště se nachází v nadmořské výšce 402 m n. m. a měření proběhlo přímo na příjezdové cestě k vodárenskému objektu. Východně od stanoviště prochází silnice III/2385 a západně silnice III/2384, obě silnice spojují Velkou Dobrou s Kladnem. Nejbližšími sídly jsou Velká Dobrá (1,2 km), Kladno (1,9 km) a Doksy (2,5 km). V lokalitě je na obloze patrná světelná záře produkovaná Kladnem na severu a Prahou na východě. Ze stanoviště jsou viditelná světla veřejného osvětlení ve Velké Dobré a v Doksech, nicméně se jedná o nerušenou lokalitu v blízkosti Kladna.

Měření proběhlo 12. února 2019 po 0:45. Obloha byla bezoblačná a její jas nebyl navyšován svitem Měsíce, převládal západní vítr a byla zjištěna teplota vzduchu zhruba 1 °C. Průměrný jas oblohy v zenitu byl **20,55 MSA**. Nejnižší jas oblohy byl zjištěn jihozápadním (20,17 MSA), jižním (20,08 MSA) a jihovýchodním směrem (19,91 MSA). Naopak nejjasnější obloha byla zaznamenána na severovýchodě (19,21 MSA), východě (19,39 MSA) a severu (19,51 MSA). Zvýšený jas oblohy v daných směrech způsobuje poloha Kladna a průmyslové zóny Kladno-jih, na východě přispívá ke zvýšení jasů také Praha a letiště Praha-Ruzyně.

Všechny hodnoty jasů oblohy jsou zaznamenány v příloze 18, tabulka 9 zobrazuje průměrné hodnoty jasů v zenitu a směrových měřeních. Obrázek 49 prezentuje směrový graf jasů oblohy a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění. Výškový profil mezi středem Kladna a stanovištěm Velká Dobrá, Pod Lapákem s výraznou lesní bariérou zobrazuje příloha 10.

Zenitový úhel	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	Zenit
30°	20,19	20,19	20,18	20,42	20,48	20,55	20,47	20,31	20,55
60°	19,51	19,21	19,39	19,91	20,08	20,17	19,96	19,78	

**Tabulka 9:** Průměrné hodnoty jasů noční oblohy v zenitu a ve směrových měřeních na stanovišti Velká Dobrá, Pod Lapákem (G). Všechny hodnoty jasů jsou uvedeny v MSA.

## 7.8 Kladno, Na Cikánce (H)

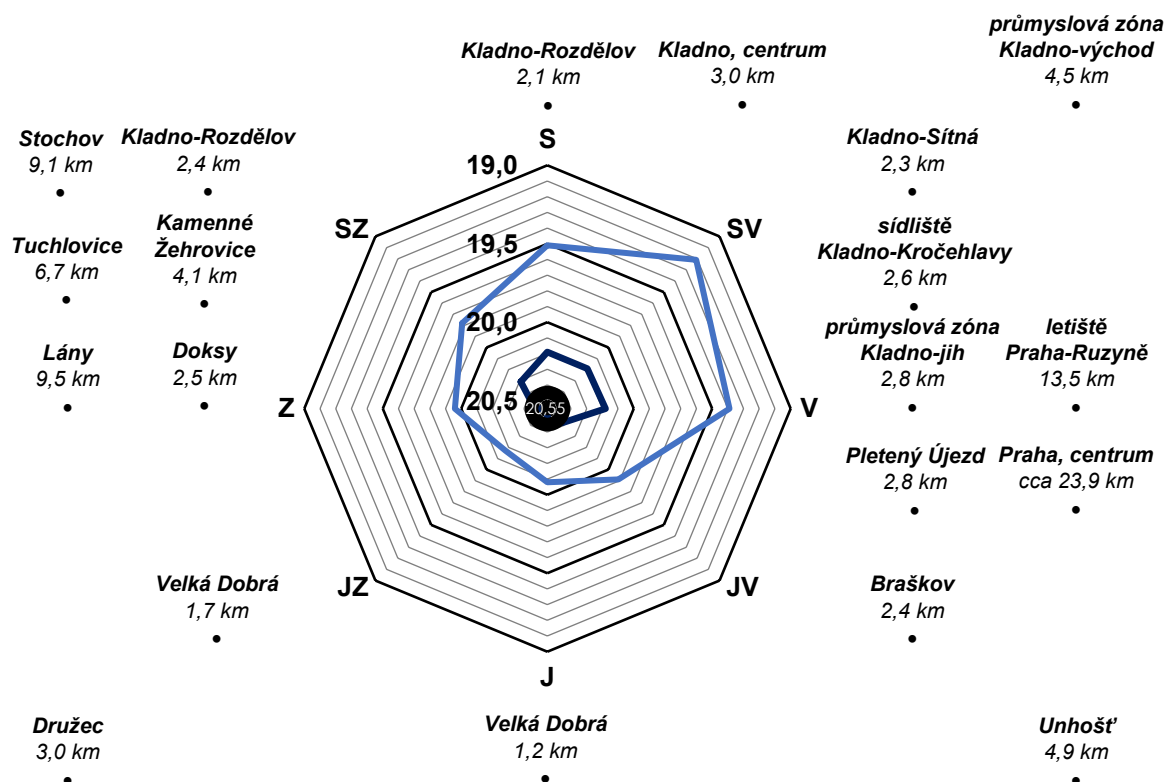
Stanoviště Kladno, Na Cikánce se nachází na návrší umístěném mezi centrem Kladna a místní částí Švermov. Nadmořská výška stanoviště je zhruba 372 m n. m. Polní lán, na kterém se stanoviště nachází, se mírně svažuje východním směrem a je vklíněn mezi cyklostezku a silnici II/118. Lokalita je pohodlně dostupná veřejnou dopravou z autobusové zastávky Kladno, Kůbeck a železniční zastávky Kladno-Švermov, auto lze zaparkovat u nedaleké čerpací stanice. Centrum Kladna je vzdáleno přímou čarou 1,6 km a Havlíčkovu náměstí ve Švermově 0,8 km. Největším zdrojem světelné záře zde není centrum Kladna, jak by mohlo být předpokládáno, nýbrž průmyslová zóna Kladno-východ v areálu bývalé hutě Koněv východně od stanoviště. Kvalitní noční oblohu lze pozorovat západním směrem. Nejbližším zdrojem světelného znečištění je čerpací stanice Robin Oil (0,3 km). Okolo stanoviště prochází vedení vysokého napětí, tak je nutné dbát na správné směřování jasoměru.

Měření proběhlo 27. února 2019 po 23:30. Měření probíhalo za jasné oblohy, převládala západní vítr a teplota vzduchu byla zhruba 4 °C. Průměrný jas oblohy v zenitu byl zjištěn **20,22 MSA**, což je nejvyšší jas ze všech párových stanovišť. Nejnížší jas oblohy byl zaznamenán západním směrem (19,90 MSA), kde se nenachází žádná větší sídla ani průmyslové podniky, poté na severozápadě a jihozápadě (obě hodnoty 19,78 MSA). Nejjasnější oblohy byla zjištěna na východě (18,63 MSA) a jihovýchodě (18,87 MSA), kde se rozkládá průmyslová zóna Kladno-východ, a severovýchodě (19,02 MSA).

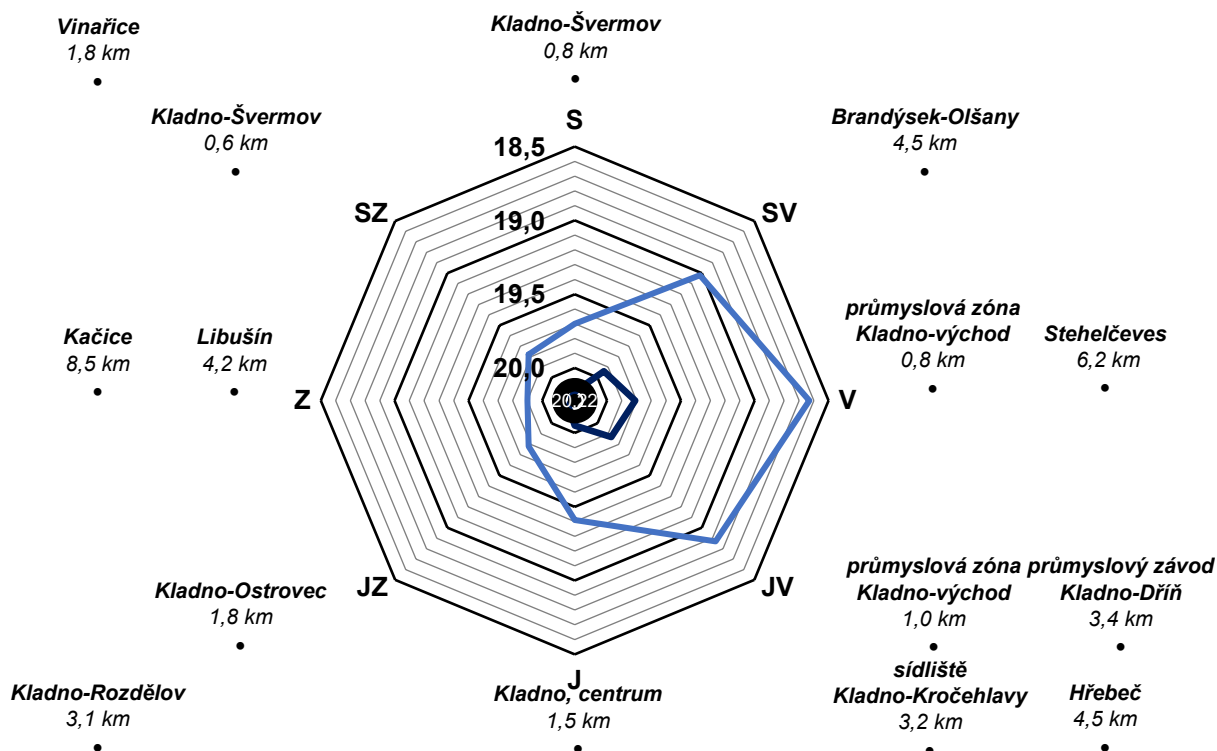
Všechny hodnoty jasu oblohy jsou zaznamenány v příloze 19, tabulka 10 zobrazuje průměrné hodnoty jasu v zenitu a směrových měřeních. Obrázek 50 prezentuje směrový graf jasu oblohy a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění. Výškový profil mezi středem Kladna a stanovištěm Kladno, Na Cikánce zobrazuje příloha 11.

Zenitový úhel	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	Zenit
30°	20,16	19,94	19,81	19,87	20,05	20,16	20,20	20,19	20,22
60°	19,70	19,02	18,63	18,87	19,41	19,78	19,90	19,78	

**Tabulka 10:** Průměrné hodnoty jasu noční oblohy v zenitu a ve směrových měřeních na stanovišti Kladno, Na Cikánce (H). Všechny hodnoty jasu jsou uvedeny v MSA.



**Obrázek 49:** Směrový graf znázorňující jas oblohy v zenitu (černě) a zenitových úhlech 30° (tmavě modře) a 60° (světle modře) na stanovišti Velká Dobrá, Pod Lapákem (G) a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění. Zpracováno autorem.



**Obrázek 50:** Směrový graf znázorňující jas oblohy v zenitu (černě) a zenitových úhlech 30° (tmavě modře) a 60° (světle modře) na stanovišti Kladno, Na Cikánce (H) a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění. Zpracováno autorem.



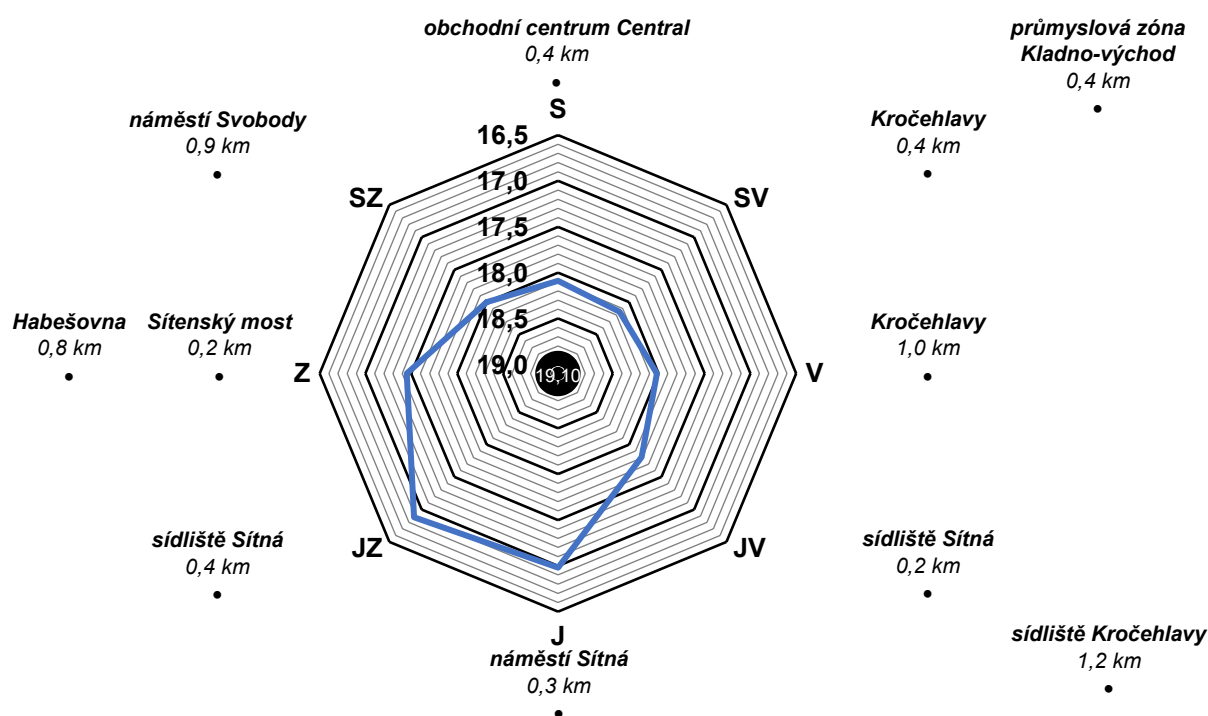
## 7.9 Kladno, Sítenské údolí (K)

Stanoviště Kladno, Sítenské údolí se nachází uprostřed Kladna v nadmořské výšce zhruba 379 m n. m. Stanoviště se nachází na severním úpatí Sítenského údolí, které je oblíbeným městským parkem, v blízkosti areálu pekáren Kompek. Stanoviště není příliš vhodným místem pro měření jasů, neboť se při horizontu nachází velké množství rušivých objektů (siluety budov, stromů a osvětlení).

Měření proběhlo 10. 2. po 0:30. Meteorologické podmínky nebyly ideální, povrch byl částečně pokryt sněhovou pokrývkou, nicméně díky oblevě byly již ve městě odhalené střechy a pozemní komunikace. Teplota vzduchu se byla zhruba 4 °C. Výsledky měření byly přidány zejména kvůli porovnání jasů oblohy v zenitu, který byl zjištěn **19,10 MSA**, s mimoměstskými stanovišti. Nejnižší jas oblohy byl zjištěn na severovýchodě (18,15 MSA) a nejvyšší jas na jihozápadě (16,88 MSA). Všechny hodnoty jasů oblohy jsou zaznamenány v příloze 20, tabulka 11 zobrazuje průměrné hodnoty jasů v zenitu a směrových měřeních. Obrázek 51 prezentuje směrový graf jasů oblohy a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění.

Zenitový úhel	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	Zenit
30°	18,98	19,01	18,90	18,85	18,90	18,92	18,97	18,96	19,10
60°	18,09	18,15	18,02	17,81	16,98	16,88	17,45	18,00	

**Tabulka 11:** Průměrné hodnoty jasů noční oblohy v zenitu a ve směrových měřeních na stanovišti Kladno, Sítenské údolí. Všechny hodnoty jasů jsou uvedeny v MSA.



**Obrázek 51:** Směrový graf znázorňující jas oblohy v zenitu (černě) a zenitovém úhlu 60° (světle modře) na stanovišti Kladno, Sítenské údolí (K) a nejvýznamnější zdroje světelného znečištění. Zpracováno autorem.

## 7.10 Syntéza terénních měření

Jednotlivá stanoviště lze na základě zjištěných průměrných jasů oblohy v zenitu (tab. 12 a obr. 52) rozdělit do několika skupin. Jas oblohy na stanovištích, která jsou vůči Kladně lesem zakrytá (A, C, E, G), ve všech případech převyšuje jas oblohy na párových stanovištích, která jsou vůči Kladnu lesem nezakrytá (B, D, F, H). Projevil se také vliv geografické polohy. Na stanovištích, která mají polohu západně od Kladna (A, C, E), je jas oblohy v zenitu nižší než na stanovištích na východ od Kladna (B, D, F). Zatímco na stanovištích A, C a E jsou hodnoty jasů téměř konstantní, na stanovištích B, C a F se projevuje severojižní gradient, kdy se jas oblohy od severu k jihu zvyšuje. Příčinou jevu je pravděpodobně snižující se vzdálenost od Prahy. Celkově nejvyšší jas oblohy byl zjištěn na stanovišti Družec, V Průhonu (E) – 20,98 MSA, nejvyšší jas oblohy v zenitu byl zaznamenán mezi párovými stanovišti v Kladně, Na Cikánci (F) – 20,22 MSA a celkově nejnižší jas oblohy byl zaznamenán v porovnávacím stanovišti Kladno, Sítenské údolí (K) – 19,10 MSA.

Stanoviště „zakrytá“	Jas oblohy v zenitu [MSA]	Stanoviště „nezakrytá“	Jas oblohy v zenitu [MSA]
A	20,93	B	20,66
C	20,94	D	20,36
E	20,98	F	20,27
G	20,55	H	20,22
K	19,10		

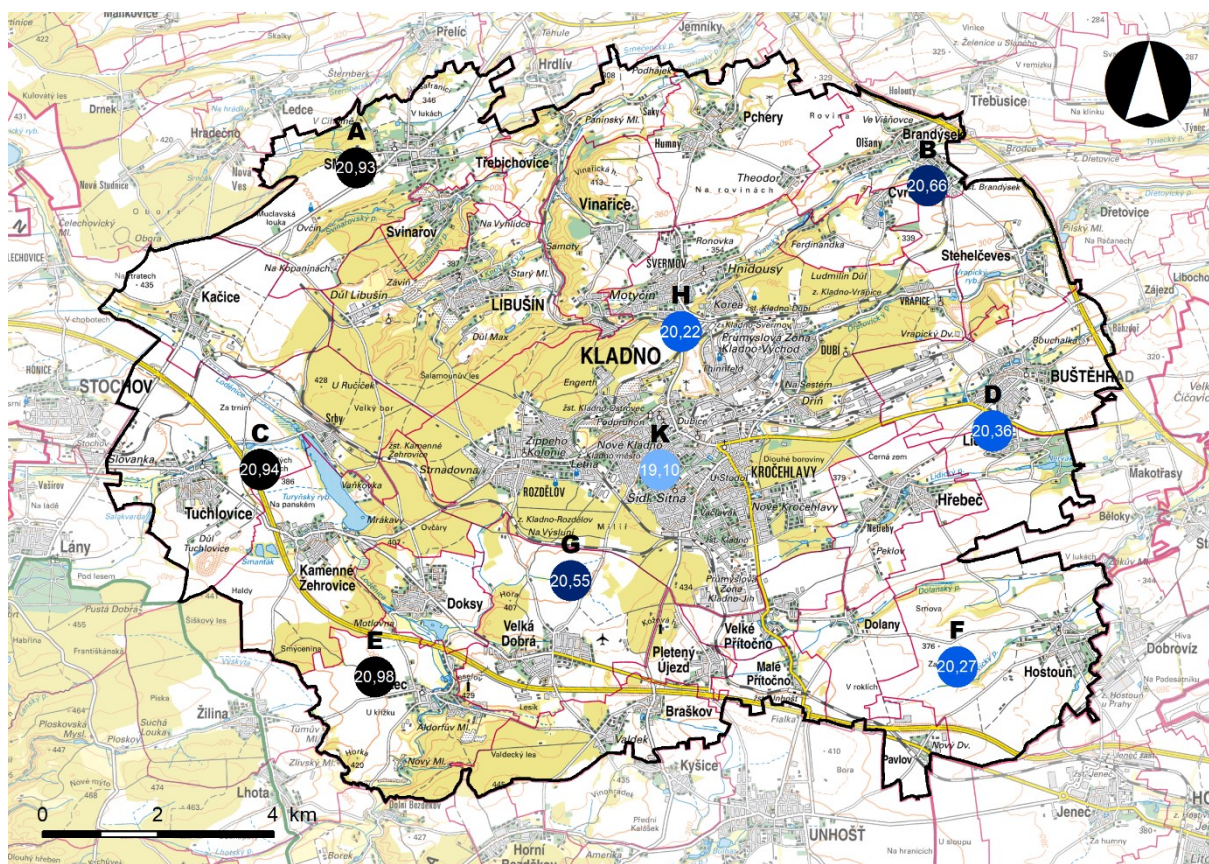
**Tabulka 12:** Průměrné hodnoty jasů oblohy v zenitu dle stanoviště. Zpracováno autorem.

Hlavní hypotéza, která předpokládá tlumení světelného znečištění lesní bariérou, byla potvrzena ve třech dvojicích (A–B, C–D, E–F) směrových měření a jedné kombinaci směrových měření dvojice G–H. Vyšší jas ve směru Kladno byl tedy potvrzen i na stanovišti Brandýsek, Důl Michal (B), které je stejně jako párové stanoviště Smečno, V Lípách (A) zakryté vůči Kladnu lesem. Pro dvojici stanovišť G a H byly provedeny čtyři porovnání směrových měření. Ve třech případech odporují hypotéze a jas ve směru ke Kladnu je na stanovišti H, které není zakryté lesem, nižší než na stanovišti G (tab. 13).

Souhrnně byl vyšší jas oblohy zaznamenán na nezakrytých stanovištích ve dvojicích o vzdálenosti zhruba 6 až 7 km od středu Kladna, tedy v souladu s hypotézou. Velkou nejistotu ovšem představuje vzdálenost Prahy, prokázán byl vliv na zenitový jas na stanovištích B, D a F. Hypotéza se naopak nepotvrdila v případě dvojice G–H, jejíž stanoviště jsou ve vzdálenosti do 3 km od středu Kladna.

Stano- viště	Světový směr	Jas [MSA]	Jas [mcd/m <sup>2</sup> ]	Stano- viště	Světový směr	Jas [MSA]	Jas [mcd/m <sup>2</sup> ]	Podíl [%]	Změna [%]
A	JV	19,86	1,2286	B	JZ	19,53	1,6650	135,52	+ 35,52
C	V	19,71	1,4107	D	Z	19,54	1,6498	116,95	+16,95
E	SV	19,45	1,7923	F	SZ	19,43	1,8257	101,86	+1,86
G	S	19,51	1,6960	H	J	19,41	1,8596	109,65	+9,65
G	S	19,51	1,6960	H	JZ	19,78	1,3226	77,98	-22,02
G	SV	19,21	2,2358	H	J	19,41	1,8596	83,18	-16,82
G	SV	19,21	2,2358	H	JZ	19,78	1,3226	59,16	-40,84

**Tabulka 13:** Porovnání směrových měření v zenitovém úhlu 60° z párových stanovišť ve směru Kladno. Podílem se rozumí podíl jasů [mcd/m<sup>2</sup>] stanoviště lesem nezakrytém (osmý sloupec) a stanoviště lesem zakrytém (čtvrtý sloupec). Změna je rozdíl vypočteného podílu a jedné. Zpracováno autorem.



**Obrázek 52:** Poloha měřících stanovišť a průměrný jas oblohy v zenitu. Všechny hodnoty jasu jsou uvedeny v MSA. Vytvořeno autorem s použitím Základní mapy 1 : 100 000 (ČUZK 2019) a polygonů obcí (ARCDATA PRAHA, ČSÚ, ČUZK 2016).

## 8 Diskuse

Jas oblohy zjištěný v Kladně a okolí spadá dle Bortleovy stupnice (Bortle 2001) do 5. až 7. kategorie, které popisují typickou příměstskou až městskou oblohu. Zjištěný zenitový jas oblohy lze vhodně porovnat s výsledky bakalářské práce Davida Kocourka (2014) *Geografické aspekty světelného znečištění*, který zjišťoval jas noční oblohy v transektu mezi centry Prahy a Kladna. Výsledky měření byly uprostřed Kladna jsou v obou pracích velice podobné. Kocourek (2014) zjistil jen o 0,05 MSA vyšší hodnotu na stanovišti v areálu bývalé hutě Poldi vzdálené zhruba 1 kilometr od stanoviště v Sítenském údolí. Mimo Kladno lze dobře porovnat výsledky měření u obce Lidice. V této práci byl prezentován zenitový jas oblohy o hodnotě 20,36 MSA a směrové měření západním směrem v zenitovém úhlu  $60^\circ$  o hodnotě 19,54 MSA. Kocourek (2014) předkládá zenitový jas noční oblohy na stanovišti u Lidic o hodnotě 20,03 MSA a směrové měření západním směrem v zenitovém úhlu  $60^\circ$  o hodnotě 18,74 MSA. Jas noční oblohy uprostřed Kladna je také srovnatelný s výsledky získanými ve středočeském Mělníku. Vojtěchovská (2014) provedla měření na 69 stanovištích po celém území Mělníka a získala hodnoty jasu v zenitu v rozmezí od 17,32 do 20,79 MSA. Porovnatelné jsou také hodnoty jasu získané ve venkovské krajině. Navzdory hustěji zalidněné krajině u Mnichovic byl Kocourkem (2017) zaznamenán jas oblohy v zenitu 21,03 MSA, zatímco u Tuchlovic stejně vzdálených od centra Prahy byl zjištěn zenitový jas oblohy o hodnotě 20,94 MSA.

Ačkoliv se hypotéza bariérového efektu lesa potvrdila u dvojice vzdálených 6 až 7 km od středu Kladna, nelze tento výsledek s čistým svědomím považovat jednoznačně za prokazatelný vzhledem k četným nejistotám. Měření probíhalo v různé dny, kdy panovaly rozdílné podmínky pro měření. Ačkoliv se pouhým okem mohlo zdát, že bezoblačná obloha není ničím narušena, nebyly brány v potaz faktory jako např. zakalení atmosféry, vlhkost a teplota vzduchu či světelný tok produkovaný sídly v okolí. Měření v identických podmínkách by znamenalo použít jasoměr na všech stanovištích v jeden okamžik, ale i tento postup by byl vzhledem k prostorovému rozložení atmosférických faktorů pravděpodobně nepřesný. Dalším kritickým faktorem je vliv Prahy. Souvislost mezi vzdáleností a zvýšeným jasnem noční oblohy potvrdil Kocourek (2017) až do 40 km od centra Prahy. Vliv Prahy a zejména letiště Praha-Ruzyně jakožto silného zdroje světelného znečištění (Kocourek 2014) může být problematický zejména pro stanoviště východně od Kladna (B, D, F), jelikož je možné navýšení jasu i ve směrových měřeních opačných od Prahy, tj. sledované směry ke Kladnu. Vzhledem ke vzdálenostem sídel v Česku lze ideální podmínky bez rušivého sousedství těžko zajistit. Kvalitu

vstupních dat pro tuto práci by navýšilo i více sérií měření na stanovištích. Kocourek (2017) provedl na každém stanovišti tři měření. K opakovanému zaznamenávání jasů na jednom stanovišti nabádá i metodika databáze SkyQuality.cz (Moudrá 2019).

Světelné znečištění je problémem, který lze vhodnými opatřeními zmírnit. Nešetné způsoby svícení v okolí Kladna byly demonstrovány na příkladech veřejného osvětlení v Lidicích (obr. 19), nadbytečného nasvícení kaple v Dolanech (obr. 20) či oslňujících bezpečnostních světel na fasádách objektů u Pavlova a v Kladně-Dříně (obr. 22). Crawford (2000) doporučuje svítit pouze tehdy, kdy je to nezbytné, eliminovat intenzitu záření směrem nad horizont a omezit ji v malých úhlech pod horizontem a omezit světelný přesah vhodnou konstrukcí svítidla. Riedel (1997) se také zmiňuje o osazení svítidel filtry, které eliminují záření krátkých vlnových délek. Snížením celkového světleného toku a stíněním svítidel je možné omezit světelnou zář na obloze až o 88 % (Duriscoe, Luginbuhl, Elvidge 2014). Speciální povrch fasád, kterým lze tlumit světelné znečištění, představuje Galatanu (2017).

## 9 Závěr

Literární rešerše je tvořena třemi kapitolami, které pojednávají o světle, světelném znečištění a zájmovém území.

Cílem praktické části bylo posoudit, jak les ovlivňuje šíření světelného znečištění v krajině. Hlavní pracovní hypotézou byla domněnka, že les tvoří bariéru, která brání šíření světelného znečištění. Byly tedy očekávány nižší jas oblohy ve směrových měření vůči zdroji světelného znečištění na stanovištích zakrytých lesem než na stanovištích lesem nezakrytých. Za zdroj světelného znečištění bylo považováno město Kladno.

Aby mohla být potvrzena či vyvrácena hypotéza, bylo vybráno osm stanovišť terénního měření ve čtyřech párech, kdy jedno stanoviště v páru bylo vůči Kladnu lesem zakryté a druhé nezakryté. Na stanovištích byl zjištěn jas noční oblohy v zenitu a zenitových úhlech  $30^\circ$  a  $60^\circ$  v osmi světových stranách jasoměrem SQM-L. Pro porovnání zenitových jasů oblohy bylo také provedeno měření uprostřed Kladna. Ze získaných hodnot jasu byly vytvořeny směrové grafy, které přehledně znázorňují jas oblohy dle světových stran a poukazují na zdroje světelného znečištění. Zenitový jas oblohy jednotlivých stanovišť byl zobrazen v mapě. Hodnoty jasu noční oblohy v párových stanovištích byly zaneseny do elektronické databáze SkyQuality.cz. Následně byly porovnány hodnoty jasu z párových stanovišť v zenitovém úhlu  $60^\circ$  a světovém směru ke Kladnu.

Výsledky směrových měření párů stanovišť (A–B, C–D, E–F) poukazují na platnost hypotézy, nicméně na základě hodnot jasu oblohy v zenitu byl zjištěn vliv Prahy. S klesající vzdáleností k Praze zenitový jas oblohy roste, což velice pravděpodobně ovlivňuje i směrová měření ve směru ke Kladnu. Hypotéza bariérového efektu lesa se tak zdá být platná, ovšem důvodem nižšího jasu oblohy je pravděpodobně blízkost Prahy, nikoliv překážka ve formě lesa.

Ačkoliv byla měření provedena za přísných meteorologických a astronomických podmínek, aby nebyl jas oblohy ovlivněn oblačností, svitem Slunce či Měsíce, nebyly podmínky zcela ekvivalentní kvůli faktorům jako např. světelný tok sídel v okolí či zakalení atmosféry.

Předložená bakalářská práce posuzuje vliv lesa na šíření světelného znečištění. Problematiku nebylo možné zejména z časových a odborných důvodů uspokojivě vyhodnotit. Na tuto práci lze v budoucnu navázat komplexnější studií postavenou na větším množství podkladových dat i měřících stanovišť a lokalizovanou mimo vliv Prahy.



# 10 Seznam zdrojů

## 10.1 Literatura

ACEITUNO, J., SANCHEZ, S. F., ACEITUNO, F. J., GALADI-ENRIGUEZ, D., NEGRO, J. J., SORIGUER, R. C., GOMEZ, G. S. (2011): An All-Sky Transmission Monitor: ASTMON. Publications of the Astronomical Society of The Pacific, 123, 907, 1076-1086.

AUBÉ, M. (2015): Physical behavior of antropogenic light propagation into the nocturnal environment. Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences, 370, 1667, 1-15

BASU, D. (2001): Dictionary of Geophysics, Astrophysics, and Astronomy. CRC Press, Roca Baton.

BENNIE, J., DAVIES, T. W., DUFFY, J. P., INGER, R., GASTON, K. J. (2014): Contrasting trends in light pollution across Europe based on satellite observed night time lights. Scientific Reports, 4, 3789, 1-6.

BENNIE, J., DAVIES, T. W., CRUSE, D., INGER, R., GASTON, K. J. (2015): Cascading effects of artificial light at night: resource-mediated control of herbivores in a grassland ecosystems. Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences, 370, 1667, 1-9.

BENNIE, J., DAVIES, T. W., CRUSE, D., GASTON, K. J. (2015): Ecological effects of artificial light at night at wild plants. Journal of Ecology, 104, 3, 611-620.

BINKLEY, D., CAMPOE, O. C., GSPALTL, M., FORRESTER, D. I. (2013): Light absorption and use efficiency in forest: Why patterns differ for trees and stands. Forest Ecology and Management, 288, 5-13.

BLAKE, D., HUTSON, A. M, RACEY, P. A., RYDELL, J., SPEAKMAN, J. R. (1994): Use of lampit roads by foraging bats in southern England. Journal of Zoology, 234, 453-462.

BOCÁKOVÁ, M. (2009): Bioluminiscence u brouků a její evoluce. Živa, 5, 226-227.

BOHREN, C. (2003): Atmospheric Optics. In: Brown, T. G., Creath, K., Kogelnik, H., Kriss, M. A., Schmit J., Weber, M. (eds.): The Optics Encyclopedia: Basic Foundations and Practical Applications. Wiley-VCH, Weinheim.

BORTLE, J. E. (2001): Introducing the Bortle dark-sky scale. Sky and Telescope, 101, 2, 126-129.

BRAINARD, G. C., HANIFIN, J. P., GREESON, J. M., BYRNE, B., GLICKMAN, G., GERNER, E., ROLLAG, M. D. (2001): Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel circadian photoreceptor. Journal of Neuroscience, 21, 16, 6405-6412.

BUJALSKÝ, L. (2010): Světelné znečištění způsobené umělým osvětlením sjezdovek v Krkonošském národním parku. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Praha.

- CINZANO, P. (2005): Night sky photometry with Sky Quality Meter. Internal report, first draft. Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Inquinamento Luminoso, Thiene.
- CINZANO, P. (2007): Report on Sky Quality Meter, version L. Internal report, preliminary draft. Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Inquinamento Luminoso, Thiene.
- CINZANO, P., CASTRO, F. J. D. (2000): The artificial luminance and the emission angles of the upward light flux. *Journal of the Italian astronomical society*, 71, 1, 251-256.
- CINZANO, P., FALCHI, F. (2012): The propagation of light pollution in the atmosphere. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 427, 4, 3337-3357.
- CINZANO, P., FALCHI, F., ELVIDGE, C. D. (2001): The first World Atlas of the artificial night sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 328, 3, 689-707.
- CINZANO, P., FALCHI, F., ELVIDGE, C., D., BAUGH, K. E. (2000): The artificial night sky brightness mapped from DMSP satellite Operational Linescan System measurements. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 318, 3, 641-657.
- CLAUSTRAT, B., LESTON, J. (2015): Melatonin: Physiological effects in humans. *Neurochirurgie*, 61, 2-3, 77-84.
- CRAWFORD, D. L. (2000): Light pollution, an environmental problem for astronomy and for mankind. *Journal of the Italian astronomical society*, 71, 1, 11-40.
- CRUMEY, A. (2014): Human contrast threshold and astronomical visibility. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 442, 3, 2600-2619.
- ČAPEK, R. (1997): *Planetární geografie*. Karolinum, Praha.
- DAVIES, T. W., BENNIE, J., INGER, R., GASTON, K. J. (2013): Artificial light alters natural regimes of night-time sky brightness. *Scientific Reports*, 3, 1722, 1-6.
- DEMEK, J., BALATKA, B., CZUDEK, T., LÁZNIČKA, Z., LINHART, J., LOUČKOVÁ, J., PANOŠ, V., RAUŠER, J., SEICHERTOVÁ, H., SLÁDEK, J., STEHLÍK, O., ŠTELCL, O., VLČEK, V. (1965): *Geomorfologie českých zemí*. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.
- DEMEK, J. (1987): *Zeměpisný lexikon ČSR: Hory a nížiny*. Academia, Praha.
- DOBROVOLNÝ, P. (1998): *Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu*. Masarykova univerzita, Brno.
- DOLL, C. N. H. (2008): *CIESIN Thematic Guide to Night-time Light Remote Sensing and its Applications*. Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University, Palisades.
- DUNLAP, J. C. (1999): Molecular bases for circadian clock. *Cell*, 96, 2, 271-290.
- DURISCOE, D. M., LUGINBUHL, C. B., ELVIDGE, C. D. (2014): The relation of outdoor lighting characteristics to sky glow from distant cities. *Lighting Research & Technology*, 46, 1, 35-49.
- DVOŘÁČEK, V. (2009): Světelné zdroje – světelné diody. *Světlo*, 5, 68-71.



- ELVIDGE, C. D., BAUGH, K. E., KIHN, E. A., KROEHL, H. W., DAVIS, E. R. (1997): Mapping city with nighttime data from the DMSP operational linescan system. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, 6, 727-734.
- ELVIDGE, C. D., CINZANO, P., PETTIT, D. R., ARVESEN, J., SUTTON, P., SMALL, C., NEMANI, R., LONGCORE, T., RICH, C., SAFRAN, J., WEEKS, J., EBENER, S. (2007): The Nightsat mission concept. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 12, 2645-2670.
- FALCHI, F., CINZANO, P. (2000): Maps of artificial sky brightness and upward emission in Italy from DMSP satellite measurements. *Journal of the Italian astronomical society*, 71, 1, 139-152.
- FALCHI, F., CINZANO, P., DURISCOE, D., KYBA, C. C. M., ELVIDGE, C. D., BAUGH, K., PORTNOV, B. A., RYBNIKOVA, N. A., FURGONI, R. (2016): The new world atlas of artificial sky brightness. *Science Advances*, 2, 6, 1-25.
- FOSTER, R. G., HANKINS, M. W. (2007): Circadian vision. *Current Biology*, 17, 17, 746-751.
- FRANK, K. D. (1988): Impact of outdoor lighting on moths: An assessment. *Journal of the Lepidopterists' Society*, 42, 2, 63-93.
- FUKA, J., HAVELKA, B. (1961): Optika a atomová fyzika I.: Optika. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- GALATANU, C. D. (2017): Study of facades with diffuse asymmetrical reflectance to reduce light pollution. *Energy Procedia*, 112, 269-305.
- GARSTANG, R. H. (1986): Model for artificial night-sky illumination. *Publication of the Astronomical Society of Pacific*, 98, 601, 364-375.
- GARSTANG, R. H. (1989): Night-sky brightness at observatories and sites. *Publication of the Astronomical Society of Pacific*, 101, 637, 302-329.
- GARSTANG, R. H. (1991a): Dust and light pollution. *Publication of the Astronomical Society of Pacific*, 103, 668, 1109-1116.
- GARSTANG, R. H. (1991b): Light pollution modelling. *International Astronomical Union Colloquium*, 112, 56-69.
- GASTON, K. J., BENNIE, J., DAVIES, T. W., HOPKINS, J. (2013): The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanism appraisal. *Biological Reviews*, 88, 4, 912-927.
- GLIWICZ, Z. M. (1986): A lunar cycle in zooplankton. *Ecology*, 67, 4, 883-897.
- GREMLICA, T., ZAVADIL, V. (2015): Biologický průzkum na kladenských haldách. *Bohemia centralis*, 33, 349-386.
- HABEL, J., ŽÁK, P. (2011): Elektrické světlo 1. České vysoké učení technické, Praha.
- HAN, P., HUANG, J., LI, R., WANG, L., HU, Y., WANG, J., HUANG, W. (2014): Monitoring trends in light pollution in China based on nighttime satellite imagery. *Remote Sensing*, 6, 6, 5541-5558.

- HÄNEL, A., POSCH, T., RIBAS, S. J., AUBÉ, M., DURISCOE, D., JECHOW, A., KOLLATH, Z., LOKEMA, D. E., MOORE, C., SCHMIDT, N., SPOELSTRA, H., WUCHTERL, G., KYBA, C. C. M. (2018): Measuring night sky brightness: methods and challenges. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 205, 278-290.
- HANSEN, J. E., TRAVIS, L. D. (1974): Light-scattering in planetary atmospheres. *Space science reviews*, 16, 4, 527-610.
- HARVEY, E. N. (1920): *The Nature of Animal Light*. The Washington Square Press, Philadelphia.
- HCSTC (2003): *Light Pollution and Astronomy. Seventh Report of Session 2002-03, Volume I*. The Stationery Office, London.
- HEILING, A. M. (1999): Why do nocturnal orb-web spiders (Araneidae) search for light? *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 46, 1, 43-49.
- HERRINGTON, L. P., BROCK, C. (1977): Propagation of noise over a through a forest stand. In: Heisler, G. M., Herrington, L. P. (eds.): *Proceedings of the conference on metropolitan physical environment*. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment station, Washington D. C.
- HOLLAN, J. (2004): Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky. Masarykova univerzita, Brno.
- HRNČÍŘOVÁ, V. (2015). Vliv meteorologických podmínek na světelné znečištění. Bakalářská práce. Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem.
- CHÁB, J., STRÁNÍK, Z. (2009): Geologické členění. In: Hrnčiarová, T., Makovčín, P., Zvara, I. (eds.): *Atlas krajiny České republiky*, Ministerstvo životního prostředí, Praha, Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu, Průhonice, s. 123.
- CHANEY, W. (2002): *Does night lighting harm trees?* Purdue University, West Lafayette.
- CHEPESIU, R. (2009): Missing the dark: The health effects of light pollution. *Environmental Health Perspectives*, 117, 1, 20-27.
- CHLUPÁČ, I., BRZOBHATÝ, R., KOVANDA, J., STRÁNÍK, Z. (2002): *Geologická minulost České republiky*. Academia, Praha.
- JOHNSON, K. (1979): Control of lampenflora at Waimoto caves, New Zealand. In: *Cave management in Australia III: Proceedings of the 3rd Australian Cave Tourism and Management Conference*, Mount Gambier. South Australian National Parks and Australian Speleological Federation, Adelaide.
- JONES, T. M., DURRANT, J., MICHAELIDES, E. B., GREEN, M. P. (2015): Melatonin: a possible link between the presence of artificial light at night and reductions in biological fitness. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 370, 1667, 1-10.
- KOCIFAJ, M., POSCH, T., LAMPHAR, H. A. S. (2015): On the relation between zenith sky brightness and horizontal illuminance. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 446, 3, 2895-2901.

- KOCOUREK, D. (2014): Geografické aspekty světelného znečištění. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Praha.
- KOCOUREK, D. (2017): Světelné znečištění v okolí hvězdárny Ondřejov. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Praha.
- KOLLÁTH, Z., DÖMENY, A. (2017): Night sky quality in existing and planned dark sky parks by digital cameras. *International Journal of Sustainable Lighting*, 19, 61-68.
- KOTEK, J. (2006): Existuje světelné znečištění. *Světlo*, 1.
- KRTILOVÁ, A., MATOUŠEK, J., MONZER, L. (1981): Světlo a osvětlování. Avicenum, Praha.
- KYBA, C. C. M., GARZ, M., KUECHLY, H., DE MIGUEL, A. S., ZAMORANO, J., FISCHER, J., HOLKER, F. (2015): High-resolution imager of Earth at night: New sources, opportunities and challenges. *Remote Sensing*, 7, 1, 1-23.
- KYBA, C., RUTHZ, T., FISCHER, J., HÖLKER, F. (2012): Red is the new black: how the colour of urban skyglow varies with cloud cover. *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 425, 1, 701-708.
- LEPIL, O. (2005): Fyzika pro gymnázia: Optika. Prometheus, Praha.
- LEWANZIK, D., VOIGT, C. C. (2014): Artificial light puts ecosystem services of frugivorous bats at risk. *Journal of Applied Ecology*, 51, 2, 388-394.
- LLOYD, J. E. (1994): Where are the lightingbugs? *Fireflyer Companion*, 1, 1, 1-12.
- LOLKEMA, D. E., HAAIMA, M., DEN OUTER, P. N., SPOELSTRA, H. (2011): Effects of atmospheric conditions on sky brightness. *National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven*.
- LONGCORE, T., RICH, C. (2004): Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and Environment*, 2, 4, 191-198.
- LUGINBUHL, C. B., LOCKWOOD, G. W., DAVIS, D. R., PICK, K., SELDERS, J. (2009a): From the ground up I: Light pollution sources in Flagstaff, Arizona. *Publication of the Astronomical Society of Pacific*, 121, 876, 185-203.
- LUGINBUHL, C. B., DURISCOE, D. M., MOORE, C. W., RICHMAN, A., LOCKWOOD, G. W., DAVIS, D. R. (2009b): From the ground up II: Sky glow and the near-ground artificial light propagation in Flagstaff, Arizona. *Publication of the Astronomical Society of Pacific*, 121, 876, 204-212.
- LUGINBUHL, C. B., BOLEY, P. A., DAVIS, D. R. (2014): The impact of light source spectral power distribution on sky glow. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 139, 21-26.
- LUTKEVICH, P., MCLEAN, D., CHEUNG, J. (2012): FHWA Lighting Handbook. Office of Safety, Washington DC.
- MAIXNER, T. (2005): Rušivé světlo Část 1. - Názvosloví a legislativa. *Světlo*, 5, 50-51.

- MAKOVČIN, P., BALATKA, B., DEMEK, J., KIRCHNER, K., SLAVÍK, P. (2009): Geomorfologické jednotky. In: Hrnčiarová, T., Makovčín, P., Zvara, I. (eds.): Atlas krajiny České republiky, Ministerstvo životního prostředí, Praha, Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu, Průhonice, s. 123.
- MALÝ, P. (2008): Optika. Karolinum, Praha.
- MIE, G. (1908): Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen. *Annalen der Physik*, 330, 3, 377-445.
- de MIGUEL, A. S., AUBÉ, M., ZAMORANO, J., KOCIFAJ, M., ROBY, J., TAPIA, C. (2017): Sky Quality Meter measurements in a colour-changing world. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 467, 3, 2966-2979.
- MILLER, S. D., MILLS, S. P., ELVIDGE, C. D., LINDSEY, D. T., LEE, T. F., HAWKINS, J. D. (2012): Suomi satellite brings to light a unique frontier of nighttime environmental sensing capabilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109, 39, 15706-15711.
- MILLER, S. D., STRAKA, W., MILLS, S. P., ELVIDGE, C. D., LEE, T. F., SOLBRIG, J., WALTHER, A., HEIDINGER, A. K., WEISS, S. C. (2013): Illuminating the capabilities of the Suomi National Polar-Orbiting Partnership (NPP) Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) Day/Night Band. *Remote Sensing*, 5, 12, 6717-6766.
- MIZON, B. (2012): *Light Pollution: Responses and Remedies*. Springer, London.
- MOORE, M. V., PIERCE, S. M., WALSCH, H. M., KVALVIK, S. K., LIM, J. D. (2001): Urban light pollution alters the diel vertical migration of *Daphnia*. *International Association of Theoretical and Applied Limnology*, 27, 779-782.
- MORGAN-TAYLOR, M. (2015): *Regulating Light Pollution in Europe: Legal Changes and Ways Forward*. In: Meier, J., Hasernöhl, U., Krause, K., Pottharst (eds.): *Urban Lighting, Light Pollution and Society*. Routledge, New York, London.
- MOUDRÁ, M. (2015): Světelné znečištění a ochrana nočního životního prostředí v České republice. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Praha.
- MÜLLER, A., WUCHTERL, G., SARAZIN, M. (2011): Measuring the night sky brightness with the Lightmeter. *Proceedings paper. Conference on the Astronomical Site Testing Data in Chile Conference*, 41, 46-49.
- NAKAMURA, T., YAMASHITA, S. (1997): Photoactive behaviour of nocturnal and diurnal spiders: Negative and positive phototaxes. *Zoological Science*, 14, 2, 199-203.
- Nařízení Komise Evropského společenství č. 245/2009 provádějící směrnici Evropského parlamentu a Rady 2005/32/ES.
- NAVARA, K. J., NELSON, R. J. (2007): The dark side of light at night: physiological, epidemiological and ecological consequences. *Journal of Pineal Research*, 43, 3, 215-224.
- NEMEŠKAL, J., POSPÍŠILOVÁ, L., OUŘEDNÍČEK, M., SVOBODA, P. (2016): Typologie denních rytmtů lokalit v Pražské metropolitní oblasti. Specializovaná mapa. Univerzita Karlova, Praha.

- NEMEŠKAL, J., OUŘEDNÍČEK, M. (2018): Typologie obcí Středočeského kraje 2018. Specializovaná mapa. Univerzita Karlova, Praha.
- NETOPIL, R., BRÁZDIL, R., DEMEK, J., PROŠEK, P. (1984): Fyzická geografie 1. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- ODGEN, L. J. E. (1996): Collision Course: The Hazards of Lighted Structures and Windows to Migrating Birds. University of Nebraska, Lincoln.
- OCHI, N., WUCHTERL, G. (2014): Long-term measurement of the night sky brightness in Japan using Lightmeters: 2009-2012 data. *Journal of Tokyo University*, 58, 1-12.
- OUŘEDNÍČEK, M., ŠPAČKOVÁ, P., KLSÁK, A., NEMEŠKAL, J. (2018): Zóny rezidenční suburbanizace v obcích Česka 2016. Specializovaná mapa. Univerzita Karlova, Praha.
- PAULEY, S. M. (2004): Lighting for the human circadian clock: recent research indicates that lighting has become a public health issue. *Medical Hypotheses*, 63, 4, 588-596.
- PERLÍN, R., KUČEROVÁ, S., KUČERA, Z. (2010): Typologie venkovského prostoru Česka. *Geografie*, 115, 2, 161-187.
- PŘIDALOVÁ, I., KLSÁK, A., NEMEŠKAL, J. (2018): Migrace obyvatelstva ve středních Čechách 2000-2017. Specializovaná mapa. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy.
- PUSCHNIG, J., POSCH, T., UTTEHALTER, S. (2014): Night sky photometry and spectroscopy performed at the Vienna University Observatory. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 17, 64-75.
- PUSCHNIG, J., SCHWOPE, A., POSCH, T., SCHWARZ, R. (2014): The sky brightness at Potsdam-Babelsberg including overcast and moonlit conditions. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 139, 76-81.
- QUITT, E. (2009): Klimatické oblasti (1901 – 1905). In: Hrnčiarová, T., Makovčín, P., Zvara, I. (eds.): *Atlas krajiny České republiky*, Ministerstvo životního prostředí, Praha, Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu, Průhonice, s. 105.
- RAND, A. S., BRIDAROLLI, M. E., DRIES, L., RYAN, M. J. (1997): Light levels influence female choice in Tungara frogs: Predation risk assessment? *Copeia*, 2, 447-450.
- RAVEN, J. A., COCKELL, C. S. (2006): Influence on photosynthesis of starlight, moonlight, planetlight, and light pollution (reflections on photosynthetically active radiation in the universe). *Astrobiology*, 6, 4, 668-675.
- RIEGEL, K. W. (1973): Light pollution: Outdoor lighting is a growing threat to astronomy. *Science*, 179, 4080, 1285-1291.
- RCEP (2009): Artificial Light in the Environment. The Stationery Office, Norwich.
- ROZEHNAL, J., ČERNÝ, J., FUCHS, M., HABUDA, P., HLAD, O., JANÍK, J., MAŠEK, M., PODDANÝ, M., PROSECKÝ, T., SOUMAROVÁ, L., ŠMELCER, L., VESELÝ, J., VONDRÁK, J., ZEJDA, M. (2018): Hvězdářská ročenka 2019. Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy.

- SALMON, M., REINERS, R., LAVIN, C., WYNEKEN, J. (1995a): Behavior of loggerhead sea turtles on an urban beach. I. Correlates of nest placement. *Journal of Herpetology*, 29, 4, 560-567.
- SALMON, M., TOLBERT, M. G., PAINTER, D. P., GOFF, M., REINERS, R. (1995b): Behavior of loggerhead sea turtles on an urban beach. II. Hatchling orientation. *Journal of Herpetology*, 29, 4, 568-576.
- SCHERNHAMMER, E. S., SCHULMEISTER, K. (2004): Melatonin and cancer risk: does light at night compromise physiologic cancer protection by lowering serum melatonin levels? *British Journal of Cancer*, 90, 5, 941-943.
- da SILVA, A., VALCU, M., KEMPENAERS, B. (2015): Light pollutions alters the phenology of dawn and dusk singing in common European songbirds. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 370, 1667, 1-9.
- SOCHOR, M., EGERTOVÁ, Z. (2015): Bioluminescence hub – odvěký a stále záhadný fenomén. *Živa*, 6, 282-284.
- SOKANSKÝ, K., NOVÁK, T., HÖCHSMANN, P., KOTEK, J., MUCHOVÁ, A., VORÁČEK, J., HLADKÝ, L., KUTAL, K. (2005): Racionalizace v osvětlování venkovních prostor. Česká společnost pro osvětlování, Ostrava.
- SOKANSKÝ, K., NOVÁK, T., BÁLSKÝ, M., BLÁHA, Z., CARBOL, Z., DIVIŠ, D., SOCHA, B., ŠNOBL, J., ŠUMPICH, J., ZÁVADA, P. (2011). *Světelná technika*. České vysoké učení technické, Praha.
- STONE, E. L., JONES, G., HARRIS, S. (2009): Street lighting disturbs commuting bats. *Current Biology*, 19, 13, 1123-1127.
- SULLIWAN, W. T. (1989): A 10-km resolution image of the entire night-time Earth based on cloud-free satellite photographs in the 400-1100-nm band. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 1, 1-15.
- SVENSSON, A. M., RYDELL, J. (1998): Mercur vapor lamps interfere with the bat defence of tympanate moths (*Operophtera* spp.; *Geometridae*). *Animal Behavior*, 55, 223-226.
- SUCHAN, P. (2004): Analýza znečišťovatelů světlem na území České republiky. In: Hollan, J.: Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky. Masarykova univerzita, Brno.
- ŠÉN, M. (2018): Světlené znečištění a vliv reliéfu. Diplomová práce. Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem.
- ŠKVARENINOVÁ, J., TUHÁRSKA, M., ŠKVARENINA, J., BÁBALOVÁ, D., SLOBODNÍKOVÁ, L., SLOBODNÍK, B., STŘEDOVÁ, H., MINDAŠ, J. (2017): Effects of light pollution on tree phenology in the urban environment. *Moravian Geographical Reports*, 25, 4, 282-290.
- VANÝSEK, V. (1980): *Základy astronomie a astrofyziky*. Academia, Praha.
- VLČEK, V. (1984): *Zeměpisný lexikon ČSR: Vodní toky a nádrže*. Academia, Praha.

VOJTĚCHOVSKÁ, K. (2014): Míra světelného znečištění v oblasti města Mělníka a jeho okolí. Bakalářská práce. Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem.

WALKER, M. F. (1970): The California site survey. Publication of the Astronomical Society of the Pacific, 82, 487, 672-698.

WALKER, M. F. (1977): The effects of urban lighting on the brightness of the night sky. Publication of the Astronomical Society of the Pacific, 89, 529, 405-409.

YURK, H., TRITES, A. W. (2000): Experimental attempts to reduce predation by harbor seals on out-migrating juvenile salmonids. Transactions of the American Fisheries Society, 129, 6, 1360-1366.

Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů. In: Sbírka zákonů České republiky 14. 2. 2002.

ZEITZER, J. M., DIJK, D. J., KRONAUER, R. E., BROWN, E. N., CZEISLER, C. A. (2000): Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. Journal of Physiology-London, 526, 3, 695-702.

ŽIBERNA, I. (2016): Svetlobna onesnaženost na območju Maribora. Revija za geografijo, 11, 2, 119-130.

## 10.2 Internetové zdroje

ACADEMO (2019): Bortle Scale, <https://academo.org/demos/bortle-scale/> (cit. 22. 3. 2019).

ČHMÚ (2019): Předpovědi modelu Aladin, <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ov/aladin/results/ala.html#?> (cit. 5. 4. 2019).

ČMES (1993): Elektronický meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS), <http://slovník.cmes.cz> (cit. 18. 2. 2019).

ČMES (2015): Elektronický meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS), <http://slovník.cmes.cz> (cit. 6. 2. 2019).

ČSÚ (2004): Správní obvody obcí s rozšířenou působností – Středočeský kraj – 2004, <https://www.czso.cz/csu/czso/13-2104-04--0210> (cit. 20. 3. 2019).

ČSÚ (2019a): Charakteristika okresu Kladno, [https://www.czso.cz/csu/xs/charakteristika\\_okresu\\_kladno](https://www.czso.cz/csu/xs/charakteristika_okresu_kladno) (cit. 20. 3. 2019).

FORSCHUNGSVERBUND BERLIN e. V. (2013): „Loss of the night“ app measures light pollution, <https://phys.org/news/2013-12-loss-night-app-pollution.html> (cit. 22. 3. 2019).

HÁJEK, R., SUCHOMEL, J. (2014): Kladenský uhelný revír, <http://hornictvi.kladnominule.cz/> (cit. 18. 3. 2019).

HOLLAN, J. (2006): Proč a jak snímkovat „RAW“, [http://www.ian.cz/detart\\_fr.php?id=1646&pageNum\\_clanky=4](http://www.ian.cz/detart_fr.php?id=1646&pageNum_clanky=4) (cit. 25. 3. 2019).

IAU (2019): Controlling Light Pollution, [https://www.iau.org/public/themes/light\\_pollution/](https://www.iau.org/public/themes/light_pollution/) (cit. 5. 2. 2019).

- IDA (2019): Glossary, <https://www.darksky.org/our-work/grassroots-advocacy/resources/glossary/> (cit. 5. 2. 2019).
- IES (2018): Glare, <https://www.ies.org/definitions/glare/> (cit. 8. 2. 2019).
- KELLY, S. (2015): Morning Aurora From the Space Station, [https://www.nasa.gov/sites/default/files/styles/full\\_width\\_feature/public/thumbnails/image/iss045e048728.jpg](https://www.nasa.gov/sites/default/files/styles/full_width_feature/public/thumbnails/image/iss045e048728.jpg) (cit. 18. 2. 2019).
- KRAMER, H. J. (2019a): DMSP (Defense Meteorological Satellite Program), <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/-/dmsp> (cit. 26. 3. 2019).
- KRAMER, H. J. (2019b): ISS Utilization: NightPod, <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/i/iss-nightpod> (cit. 27. 3. 2019).
- MOUDRÁ, M. (2019): SkyQuality – projekt mapování jasu noční oblohy, <http://www.skyquality.cz/> (cit. 5. 4. 2019).
- OSTN (2019): Světelné znečištění, <http://svetelneznecistenici.cz> (cit. 25. 2. 2019).
- PORTEŠOVÁ, A. (2018): Světelnému znečištění přispívá vánoční výzdoba, říká odborník, [https://www.metro.cz/svetelnemu-znecistenici-prispiva-vanocni-vyzdoba-podstatnou-merou-rika-odbornik-gfx-/region.aspx?c=A181219\\_221247\\_metro-region\\_hyr](https://www.metro.cz/svetelnemu-znecistenici-prispiva-vanocni-vyzdoba-podstatnou-merou-rika-odbornik-gfx-/region.aspx?c=A181219_221247_metro-region_hyr) (cit. 25. 2. 2019).
- RYER, A. (2000): Light Measurement Handbook: Basic Principles, <http://www.dfisica.ubi.pt/~hgil/Fotometria/HandBook/ch06.html> (cit. 11. 2. 2019).
- STARE, J. (2019): Light pollution map, <https://www.lightpollutionmap.info> (cit. 7. 3. 2019).
- UNIHDRON (2010): SQM-LR User's Manual, [http://unihedron.com/projects/sqm-lr/cd/SQM-LR\\_Users\\_manual.pdf](http://unihedron.com/projects/sqm-lr/cd/SQM-LR_Users_manual.pdf) (cit. 23. 3. 2019).
- UNIHDRON (2017): Instruction sheet, [http://unihedron.com/projects/darksky/Instruction\\_sheet.pdf](http://unihedron.com/projects/darksky/Instruction_sheet.pdf) (cit. 22. 3. 2019).
- UNIHDRON (2018a): SQM-LE Operator's Manual, [http://unihedron.com/projects/darksky/cd/SQM-LE/SQM-LE\\_Users\\_manual.pdf](http://unihedron.com/projects/darksky/cd/SQM-LE/SQM-LE_Users_manual.pdf) (cit. 23. 3. 2019).
- UNIHDRON (2018b): SQM-LU Operator's Manual, [http://unihedron.com/projects/darksky/cd/SQM-LU/SQM-LU\\_Users\\_manual.pdf](http://unihedron.com/projects/darksky/cd/SQM-LU/SQM-LU_Users_manual.pdf) (cit. 23. 3. 2019).
- UNIHDRON (2019): SQM-LU-DL Operator's Manual, [http://www.unihedron.com/projects/darksky/cd/SQM-LU-DL/SQM-LU-DL\\_Users\\_manual.pdf](http://www.unihedron.com/projects/darksky/cd/SQM-LU-DL/SQM-LU-DL_Users_manual.pdf) (cit. 23. 3. 2019).
- UVGZ AV ČR, v. v. i. (2019): Klimatická změna v České republice, <https://www.klimatickazmena.cz> (cit. 12. 3. 2019).



### *10.3 Data a mapové podklady*

ARCDATA PRAHA, ČSÚ, ČUZK (2016): ArcČR 500, verze 3.3, <https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/arccr-500> (cit. 12. 3. 2019).

ČGS (2015): Geologická mapa České republiky 1:50 000 (GEOČR50), <https://micka.geology.cz/records/54d22217-dab0-47e2-a68c-2aa80a010852?language=cze> (cit. 18. 3. 2018).

ČSÚ (2018a): Demografická ročenka správních obvodů obcí s rozšířenou působností - 2008 až 2017, <https://www.czso.cz/csu/czso/so-orp-stredocesky-kraj-o7kkia7q7f> (cit. 19. 3. 2019).

ČSÚ (2018b): Počet obyvatel v obcích k 1. 1. 2018, <https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-see2a5tx8j> (cit. 19. 3. 2019).

ČSÚ (2019b): Registr ekonomických subjektů, [https://www.czso.cz/csu/res/registr\\_ekonomickych\\_subjektu](https://www.czso.cz/csu/res/registr_ekonomickych_subjektu) (cit. 20. 3. 2019).

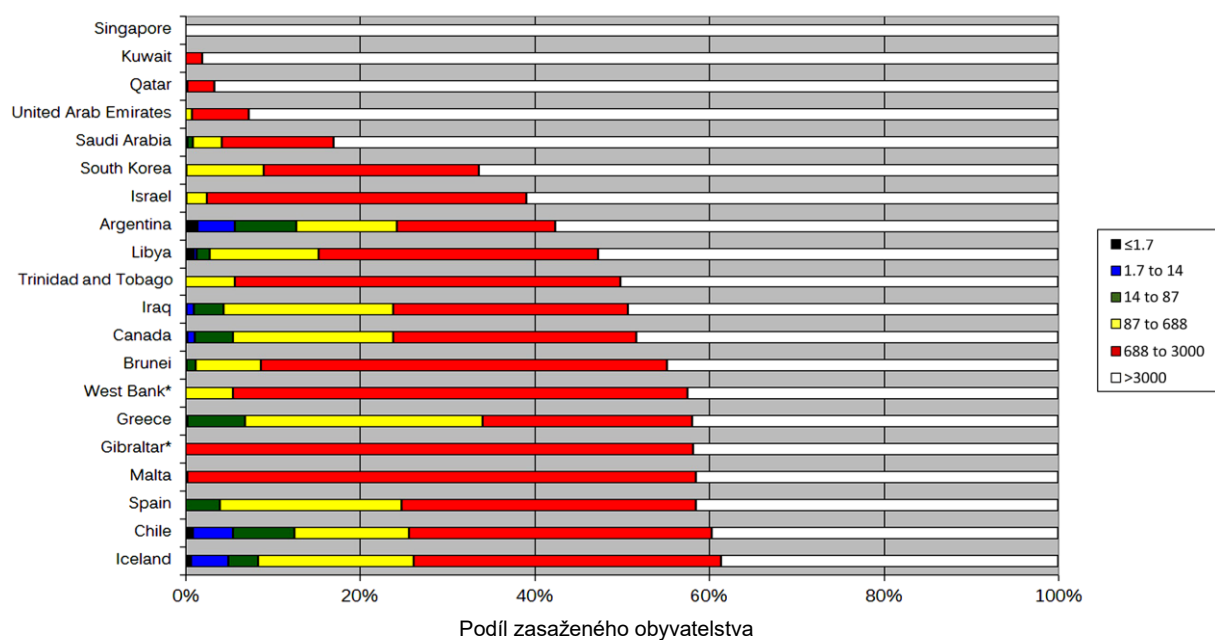
ČUZK (2013): Digitální model povrchu České republiky 1. generace (DMP 1G), [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(zyqisczqryx50tw44j41zkm5\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMP1G-V&head\\_tab=sekce-02-gp&menu=303](https://geoportal.cuzk.cz/(S(zyqisczqryx50tw44j41zkm5))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMP1G-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=303) (cit. 12. 3. 2019).

ČUZK (2016): Základní mapa České republiky 1:100 000, [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(v0aezpt1yijdunt5i51l5mhu\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=mapy\\_tiskZMSM&metadataID=CZ-CUZK-ZM100-T](https://geoportal.cuzk.cz/(S(v0aezpt1yijdunt5i51l5mhu))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=mapy_tiskZMSM&metadataID=CZ-CUZK-ZM100-T) (cit. 12. 3. 2019).

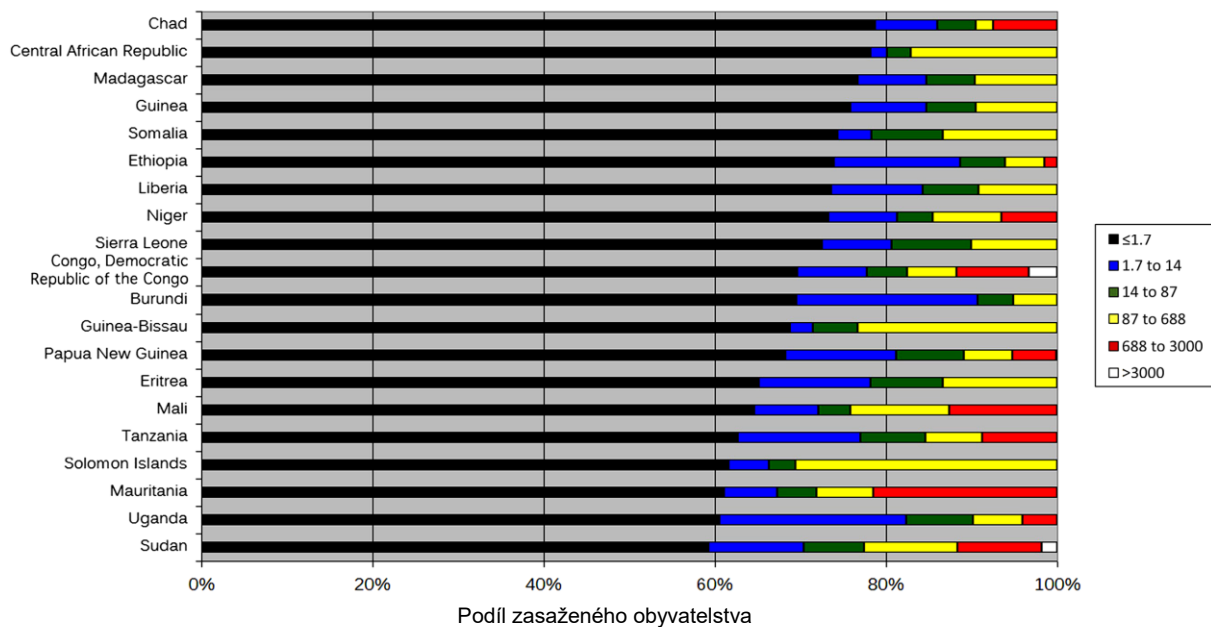
# Seznam příloh

<b>Příloha 1:</b> Dvacet nejvíce zasažených států dle podílu zasaženého obyvatelstva světelným znečištěním.....	<b>I</b>
<b>Příloha 2:</b> Dvacet nejméně zasažených států dle podílu zasaženého obyvatelstva světelným znečištěním.....	<b>I</b>
<b>Příloha 3:</b> Průměrná zenitová záře v Česku v roce 2013 na základě dat VIIRS/DNB .....	<b>II</b>
<b>Příloha 4:</b> Průměrná zenitová záře v Česku v roce 2018 na základě dat VIIRS/DNB .....	<b>II</b>
<b>Příloha 5:</b> Krajinný pokryv zájmové oblasti.....	<b>III</b>
<b>Příloha 6:</b> Třídy krajinného pokryvu, jejich rozloha a podíl na celkové ploše zájmového území .....	<b>III</b>
<b>Příloha 7:</b> Hustota zalidnění v jednotlivých obcích zájmové oblasti k 1. 1. 2018.....	<b>IV</b>
<b>Příloha 8:</b> Výškový profil transektu mezi středem Kladna a stanovištěm Tuchlovice, Záplavy. ....	<b>IV</b>
<b>Příloha 9:</b> Výškový profil transektu mezi středem Kladna a stanovištěm Lidice .....	<b>V</b>
<b>Příloha 10:</b> Výškový profil transektu mezi středem Kladna a stanovištěm Velká Dobrá, Pod Lapákem .....	<b>V</b>
<b>Příloha 11:</b> Výškový profil transektu mezi středem Kladna a stanovištěm Kladno, Na Cikánce .....	<b>V</b>
<b>Příloha 12:</b> Formulář terénního měření ze stanoviště Smečno, V Lípách .....	<b>VI</b>
<b>Příloha 13:</b> Formulář terénního měření ze stanoviště Brandýsek, Důl Michal .....	<b>VII</b>
<b>Příloha 14:</b> Formulář terénního měření ze stanoviště Tuchlovice, Záplavy.....	<b>VIII</b>
<b>Příloha 15:</b> Formulář terénního měření ze stanoviště Lidice.....	<b>IX</b>
<b>Příloha 16:</b> Formulář terénního měření ze stanoviště Družec, V Lípách .....	<b>X</b>
<b>Příloha 17:</b> Formulář terénního měření ze stanoviště Hostouň, Zabitý.....	<b>XI</b>
<b>Příloha 18:</b> Formulář terénního měření ze stanoviště Velká Dobrá, Pod Lapákem .....	<b>XII</b>
<b>Příloha 19:</b> Formulář terénního měření ze stanoviště Kladno, Na Cikánce .....	<b>XIII</b>
<b>Příloha 20:</b> Formulář terénního měření ze stanoviště Kladno, Sítenské údolí .....	<b>XIV</b>

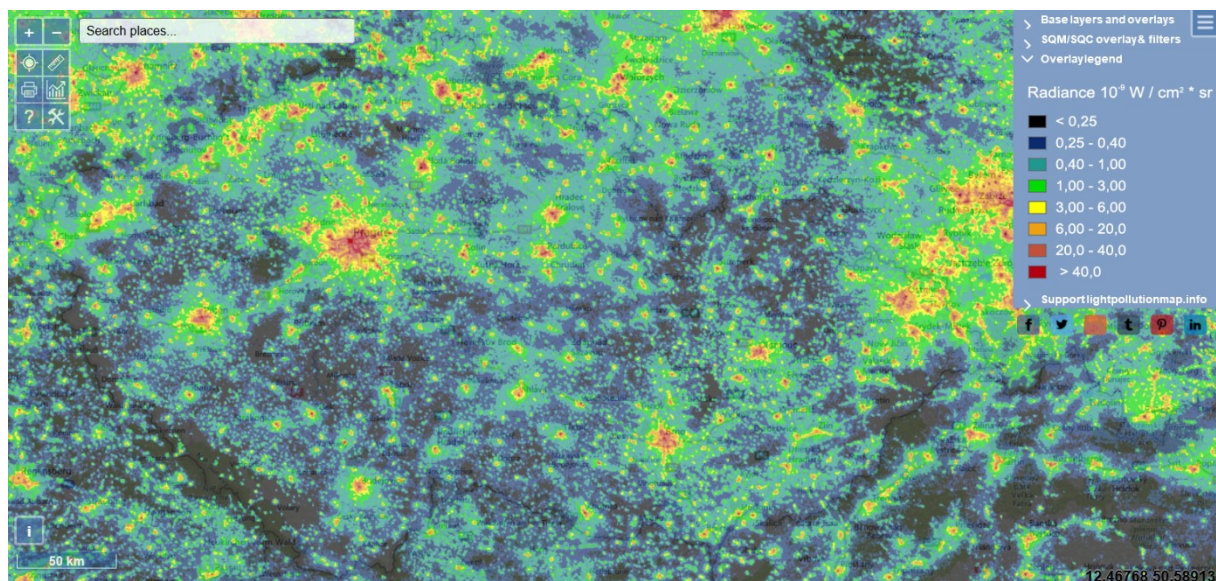
# Přílohy



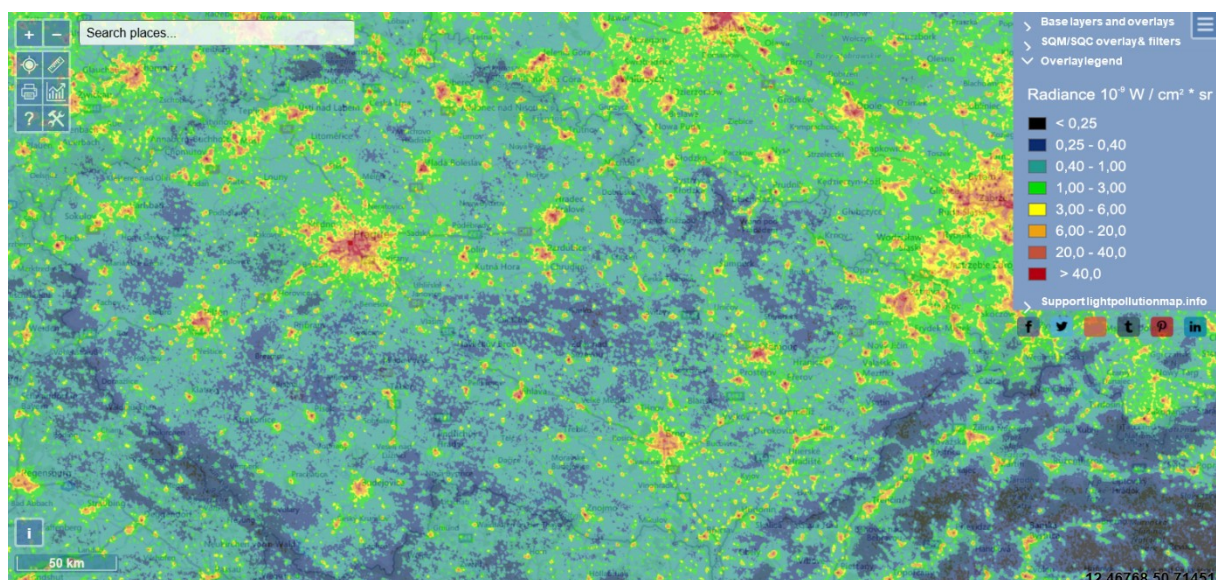
**Příloha 1:** Dvacet nejvíce zasažených států dle podílu zasaženého obyvatelstva světelným znečištěním. Legenda zobrazuje úroveň světelného znečištění v  $\Omega\text{cd/m}^2$  nad přirozeným jasem noční oblohy. Převzato z Falchi a kol. (2016).



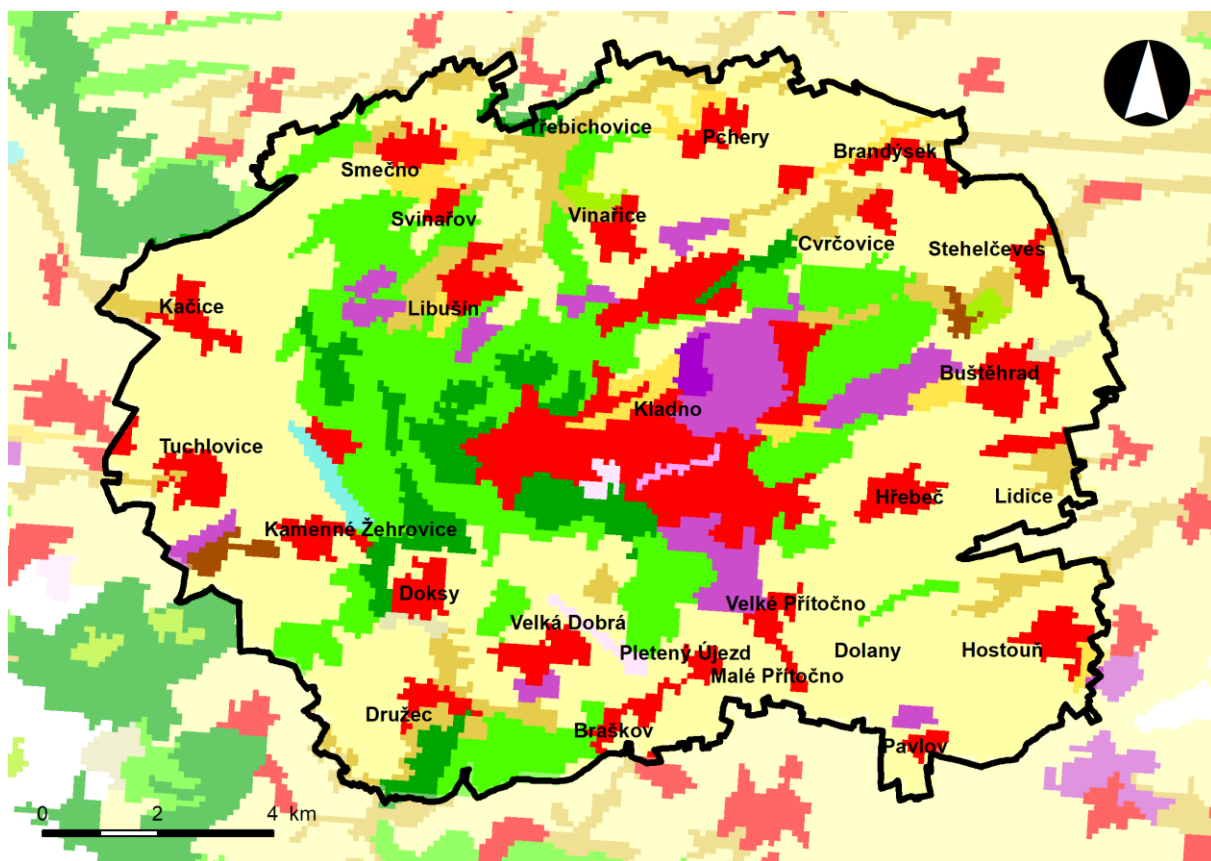
**Příloha 2:** Dvacet nejméně zasažených států dle podílu zasaženého obyvatelstva světelným znečištěním. Legenda zobrazuje úroveň světelného znečištění v  $\Omega\text{cd/m}^2$  nad přirozeným jasem noční oblohy. Převzato z Falchi a kol. (2016).



*Příloha 3: Průměrná zenitová záře v Česku v roce 2013 odvozená z dat VIIRS/DNB. Převzato ze Stare (2019).*



*Příloha 4: Průměrná zenitová záře v Česku v roce 2018 odvozená z dat VIIRS/DNB. Převzato ze Stare (2019).*

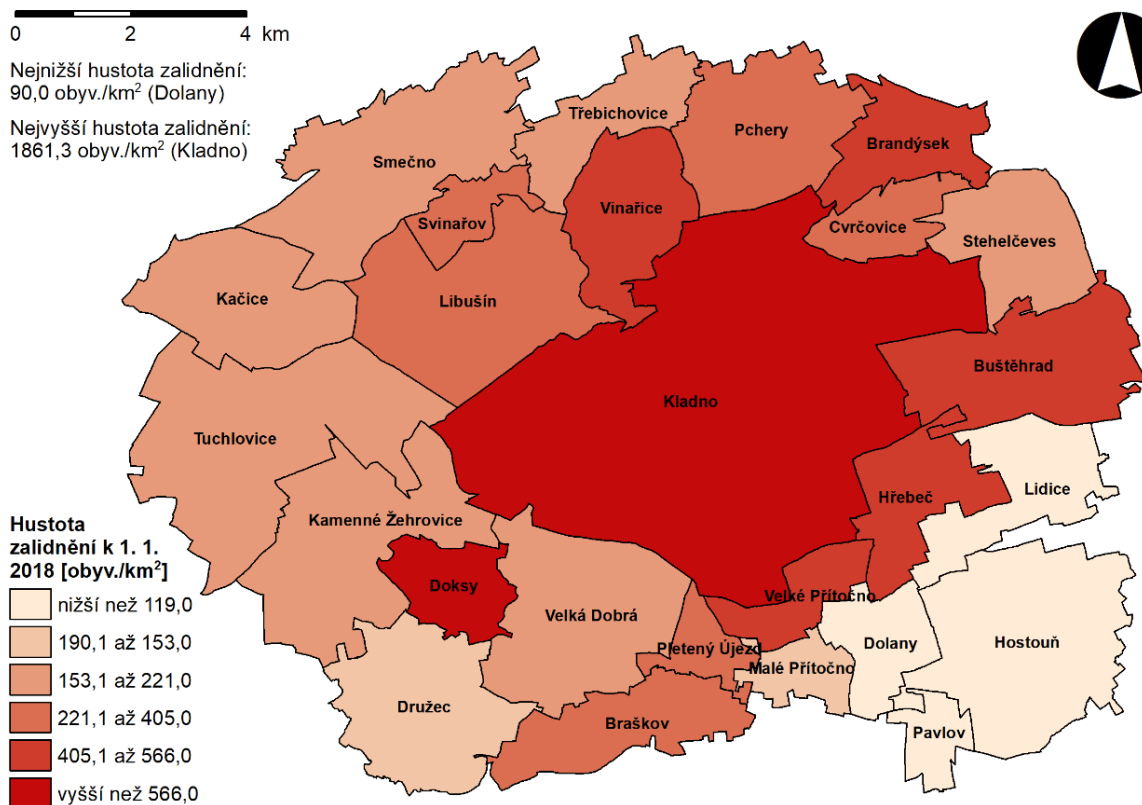


**Příloha 5:** Krajinný pokryv zájmové oblasti. Legenda mapy je součástí přílohy 6. Vytvořeno autorem s použitím dat krajinného pokryvu Corine Land Cover (Copernicus 2018) a polygonů obcí (ARCDATA PRAHA, ČSÚ, ČÚZK 2016).

Barva	Kód	Třída krajinného pokryvu	Podíl [%]	Rozloha [km <sup>2</sup> ]
	112	Nesouvislá městská zástavba	14,83	25,82
	121	Průmyslové a komerční pozemky	5,02	8,74
	131	Areály těžby nerostných surovin	0,29	0,50
	132	Haldy a skládky	0,47	0,82
	141	Městská zeleň	0,13	0,23
	142	Vybavení pro sport a volný čas	0,45	0,78
	211	Nezavlažovaná zemědělská půda	48,60	84,65
	231	Pastviny	0,29	0,51
	242	Směsice polí luk a trvalých plodin	2,02	3,51
	243	Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací	5,82	10,14
	312	Jehličnaté lesy	4,85	8,45
	313	Smíšené lesy	16,48	28,70
	324	Přechodný lesní porost	0,38	0,67
	512	Vodní plochy	0,37	0,64

**Příloha 6:** Třídy krajinného pokryvu, jejich rozloha a podíl na celkové ploše zájmového území. Vlastní zpracování na základě dat Corine Land Cover (Copernicus 2018).





**Příloha 7:** Hustota zalidnění v jednotlivých obcích zájmové oblasti k 1. 1. 2018. Vytvořeno autorem dle ČSÚ (2018b) s použitím polygonů obcí (ARCDATA PRAHA, ČSÚ, ČÚZK 2016).



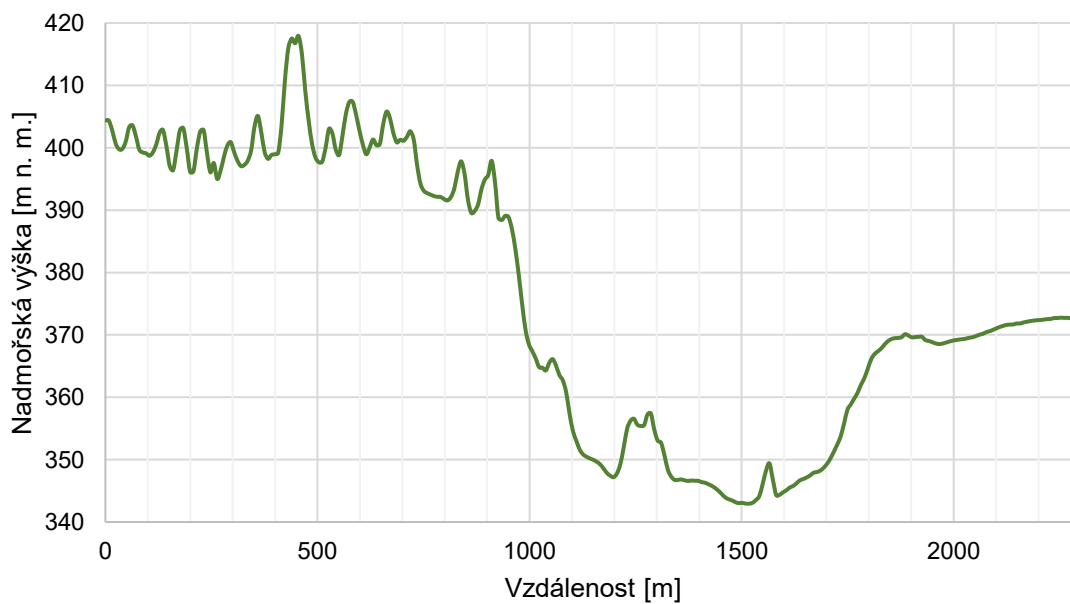
**Příloha 8:** Výškový profil transektu mezi středem Kladna (+) a stanovištěm Tuchlovice, Záplavy (C). Vytvořeno autorem na základě DMP (ČÚZK 2013).



**Příloha 9:** Výškový profil transektu mezi středem Kladna (+) a stanovištěm Lidice (D). Převýšení je shodné s převýšením výškového profilu v příloze 8. Vytvořeno autorem na základě DMP (ČÚZK 2013).



**Příloha 10:** Výškový profil transektu mezi středem Kladna (+) a stanovištěm Velká Dobrá, Pod Lapákem (D). Vytvořeno autorem na základě DMP (ČÚZK 2013).



**Příloha 11:** Výškový profil transektu mezi středem Kladna (+) a stanovištěm Kladno, Na Cikánce (D). Převýšení je shodné s převýšením výškového profilu v příloze 10. Vytvořeno autorem na základě DMP (ČÚZK 2013).

Stanoviště:				Smečno, V Lípách (A)													
Souřadnice:				N50.1857, E14.0285						Datum a čas měření:				7. 3. 2019, 23:45			
Podmínky měření:				bezoblačná a bezměsíčná obloha, bez sněhové pokrývky, mírný západní vítr													
Nadmořská výška:				388 m n. m.						Teplota vzduchu:				4 °C			
Měření	Zenit	S		SV		V		JV		J		JZ		Z		SZ	
		30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°
1.	21,08	20,78	20,16	20,65	19,85	20,58	19,51	20,72	20,06	20,82	20,52	20,86	20,49	20,90	20,48	20,88	20,47
2.	20,97	20,82	20,31	20,64	19,98	20,57	19,56	20,69	19,88	20,81	20,43	20,86	20,52	20,88	20,47	20,87	20,38
3.	20,91	20,83	20,32	20,68	19,93	20,59	19,58	20,67	19,77	20,79	20,38	20,83	20,49	20,85	20,47	20,83	20,37
4.	20,90	20,85	20,27	20,70	19,96	20,58	19,59	20,63	19,90	20,81	20,46	20,87	20,48	20,86	20,46	20,86	20,39
5.	20,91	20,82	20,31	20,67	19,88	20,60	19,65	20,67	19,80	20,76	20,42	20,85	20,55	20,87	20,49	20,87	20,44
Průměr	20,93	20,82	20,30	20,67	19,92	20,58	19,58	20,68	19,86	20,80	20,44	20,86	20,50	20,87	20,47	20,87	20,40

*Příloha 12: Formulář terénního měření ze stanoviště Smečno, V Lípách (A). Tučně jsou zvýrazněny hodnoty, ze kterých byl vypočten průměrný jas v daném směru, a kurzívou jsou zvýrazněny odlehle hodnoty jasu. Všechny hodnoty jsou uvedeny v MSA. Zpracováno autorem.*



Stanoviště:				Brandýsek, Důl Michal (B)													
Souřadnice:				N50.1840, E14.1672						Datum a čas měření:				10. 3. 2019, 0:00			
Podmínky měření:				bezoblačná a bezměsíčná obloha, bez sněhové pokrývky, západní vítr													
Nadmořská výška:				294 m n. m.						Teplota vzduchu:				5 °C			
Měření	Zenit	S		SV		V		JV		J		JZ		Z		SZ	
		30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°
1.	20,64	20,41	19,79	20,52	19,43	20,39	19,43	20,45	19,07	20,18	19,45	20,54	19,64	20,42	19,72	20,40	19,54
2.	20,62	20,53	19,76	20,54	19,46	20,40	19,34	20,26	19,08	20,27	19,33	20,43	19,42	20,49	19,56	20,54	19,65
3.	20,65	20,54	19,83	20,36	19,46	20,51	19,31	20,35	19,21	20,26	19,43	20,44	19,44	20,44	19,75	20,48	19,61
4.	20,68	20,54	19,90	20,64	19,53	20,38	19,25	20,37	19,09	20,37	19,42	20,46	19,63	20,45	19,59	20,53	19,66
5.	20,74	20,57	19,79	20,55	19,36	20,36	19,28	20,34	19,10	20,22	19,47	20,45	19,53	20,44	19,78	20,53	19,56
Průměr	20,66	20,54	19,80	20,54	19,45	20,39	19,31	20,35	19,09	20,25	19,43	20,45	19,53	20,44	19,70	20,51	19,61

*Příloha 13: Formulář terénního měření ze stanoviště Brandýsek, Důl Michal (B). Tučně jsou zvýrazněny hodnoty, ze kterých byl vypočten průměrný jas v daném směru, a kurzívou jsou zvýrazněny odlehle hodnoty jasu. Všechny hodnoty jsou uvedeny v MSA. Zpracováno autorem.*

Stanoviště:				Tuchlovice, Záplavy (C)													
Souřadnice:				N50.1385, E14.0061						Datum a čas měření:				15. 2. 2019, 3:45			
Podmínky měření:				bezoblačná a bezměsíčná obloha, bez sněhové pokrývky, bezvětrí													
Nadmořská výška:				397 m n. m.						Teplota vzduchu:				0 °C			
Měření	Zenit	S		SV		V		JV		J		JZ		Z		SZ	
		30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°
1.	20,96	20,78	20,15	20,59	19,81	20,63	19,68	20,72	20,26	20,80	20,47	20,85	20,33	20,76	20,10	20,79	20,27
2.	20,91	20,73	20,19	20,61	19,85	20,62	19,65	20,75	20,30	20,82	20,46	20,86	20,35	20,80	20,20	20,85	20,29
3.	20,95	20,81	20,37	20,68	19,94	20,63	19,81	20,73	20,24	20,83	20,45	20,86	20,38	20,80	20,34	20,86	20,31
4.	20,93	20,80	20,26	20,66	20,19	20,67	19,73	20,76	20,11	20,84	20,40	20,84	20,57	20,83	20,37	20,84	20,46
5.	20,93	20,79	20,30	20,67	20,13	20,64	19,76	20,71	20,15	20,83	20,42	20,92	20,39	20,84	20,30	20,84	20,35
Průměr	20,94	20,79	20,25	20,65	19,97	20,63	19,71	20,73	20,22	20,83	20,44	20,86	20,37	20,81	20,28	20,84	20,32

*Příloha 14: Formulář terénního měření ze stanoviště Tuchlovice, Záplavy (C). Tučně jsou zvýrazněny hodnoty, ze kterých byl vypočten průměrný jas v daném směru, a kurzívou jsou zvýrazněny odlehle hodnoty jasu. Všechny hodnoty jsou uvedeny v MSA. Zpracováno autorem.*

Stanoviště:				Lidice (D)													
Souřadnice:				N50.1459, E14.1836						Datum a čas měření:				8. 3. 2019, 1:15			
Podmínky měření:				bezoblačná a bezměsíčná obloha, bez sněhové pokrývky, mírný západní vítr													
Nadmořská výška:				367 m n. m.						Teplota vzduchu:				4 °C			
Měření	Zenit	S		SV		V		JV		J		JZ		Z		SZ	
		30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°
1.	20,35	20,26	19,83	20,13	19,59	20,05	19,10	20,04	19,21	20,13	19,73	20,18	19,64	20,20	19,54	20,24	19,58
2.	20,35	20,25	19,78	20,14	19,63	20,00	19,10	20,04	19,19	20,18	19,75	20,18	19,71	20,22	19,51	20,26	19,72
3.	20,38	20,27	19,85	20,19	19,65	20,00	19,07	20,06	19,27	20,17	19,78	20,21	19,70	20,22	19,59	20,30	19,70
4.	20,37	20,29	19,84	20,15	19,58	20,02	19,16	20,08	19,16	20,19	19,69	20,23	19,70	20,23	19,55	20,27	19,65
5.	20,30	20,27	19,83	20,11	19,60	19,96	19,10	20,00	19,23	20,15	19,79	20,17	19,68	20,18	19,53	20,25	19,75
Průměr	20,36	20,27	19,83	20,14	19,61	20,01	19,10	20,05	19,21	20,17	19,75	20,19	19,69	20,21	19,54	20,26	19,69

*Příloha 15: Formulář terénního měření ze stanoviště Lidice (D). Tučně jsou zvýrazněny hodnoty, ze kterých byl vypočten průměrný jas v daném směru, a kurzívou jsou zvýrazněny odlehlé hodnoty jasu. Všechny hodnoty jsou uvedeny v MSA. Zpracováno autorem.*

Stanoviště:				Družec, V Průhonu (E)													
Souřadnice:				N50.1064, E14.0345						Datum a čas měření:				5. 3. 2019, 22:15			
Podmínky měření:				bezoblačná a bezměsíčná obloha, bez sněhové pokrývky, bezvětrí													
Nadmořská výška:				408 m n. m.						Teplota vzduchu:				1 °C			
Měření	Zenit	S		SV		V		JV		J		JZ		Z		SZ	
		30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°
1.	21,00	20,74	19,91	20,65	19,45	20,69	19,37	20,85	20,31	20,90	20,50	20,84	20,55	20,81	20,41	20,80	20,26
2.	20,96	20,72	19,90	20,68	19,43	20,63	19,39	20,81	20,37	20,86	20,50	20,82	20,53	20,82	20,39	20,79	20,22
3.	20,98	20,67	19,91	20,62	19,45	20,64	19,41	20,80	20,32	20,87	20,49	20,81	20,55	20,82	20,41	20,78	20,22
4.	20,98	20,71	19,87	20,64	19,46	20,65	19,45	20,82	20,36	20,85	20,51	20,82	20,54	20,83	20,42	20,83	20,21
5.	20,98	20,65	19,95	20,60	19,45	20,64	19,40	20,81	20,35	20,86	20,47	20,82	20,51	20,86	20,40	20,88	20,23
Průměr	20,98	20,70	19,91	20,64	19,45	20,64	19,40	20,81	20,34	20,86	20,50	20,82	20,54	20,82	20,41	20,81	20,22

*Příloha 16: Formulář terénního měření ze stanoviště Družec, V Průhonu (E). Tučně jsou zvýrazněny hodnoty, ze kterých byl vypočten průměrný jas v daném směru, a kurzívou jsou zvýrazněny odlehlé hodnoty jasu. Všechny hodnoty jsou uvedeny v MSA. Zpracováno autorem.*

Stanoviště:				Hostouň, Zabítý (F)													
Souřadnice:				N50.1091, E14.1758						Datum a čas měření:				27. 2. 2019, 1:00			
Podmínky měření:				bezoblačná a bezměsíčná obloha, bez sněhové pokrývky, bezvětrí													
Nadmořská výška:				381 m n. m.						Teplota vzduchu:				3 °C			
Měření	Zenit	S		SV		V		JV		J		JZ		Z		SZ	
		30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°
1.	20,35	20,10	19,80	19,92	19,36	19,93	18,96	20,06	19,38	20,14	19,52	20,18	19,48	20,21	19,65	20,22	19,65
2.	20,25	20,21	19,54	20,04	19,12	20,00	18,94	20,05	19,45	20,18	19,45	20,18	19,52	20,25	19,59	20,26	19,49
3.	20,29	20,25	19,57	19,78	19,46	19,97	18,75	19,93	19,36	19,95	19,50	20,18	19,45	20,18	19,50	20,22	19,38
4.	20,24	20,06	19,67	20,02	19,36	19,99	18,65	19,87	19,33	19,98	19,53	20,18	19,49	20,10	19,47	20,21	19,42
5.	20,28	20,17	19,45	20,01	19,42	19,91	18,97	20,03	19,30	20,15	19,43	20,18	19,20	20,18	19,55	20,27	19,32
Průměr	20,27	20,16	19,59	19,98	19,38	19,96	18,88	20,00	19,36	20,09	19,49	20,18	19,47	20,19	19,55	20,23	19,43

*Příloha 17: Formulář terénního měření ze stanoviště Hostouň, Zabítý (F). Tučně jsou zvýrazněny hodnoty, ze kterých byl vypočten průměrný jas v daném směru, a kurzívou jsou zvýrazněny odlehlé hodnoty jasu. Všechny hodnoty jsou uvedeny v MSA. Zpracováno autorem.*

Stanoviště:				Velká Dobrá, Pod Lapákem (G)													
Souřadnice:				N50.1212, E14.0821						Datum a čas měření:				12. 2. 2019, 0:45			
Podmínky měření:				bezoblačná a bezměsíčná obloha, bez sněhové pokrývky, západní vítr													
Nadmořská výška:				402 m n. m.						Teplota vzduchu:				1 °C			
Měření	Zenit	S		SV		V		JV		J		JZ		Z		SZ	
		30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°
1.	20,59	20,05	19,54	19,93	19,28	20,00	19,28	20,43	19,94	20,27	20,10	20,39	20,13	20,47	20,22	20,30	20,06
2.	20,55	20,31	19,69	20,21	19,11	20,07	19,23	20,39	20,04	20,47	20,12	20,53	20,14	20,52	19,92	20,25	19,70
3.	20,53	20,27	19,60	20,14	19,31	20,27	19,41	20,47	19,84	20,45	20,09	20,58	20,23	20,44	19,83	20,29	19,66
4.	20,47	20,12	19,31	20,22	19,23	20,22	19,52	20,38	19,93	20,53	20,06	20,56	20,11	20,51	20,04	20,38	19,87
5.	20,58	20,17	19,39	20,24	19,10	20,24	19,49	20,45	19,87	20,59	19,97	20,56	20,29	20,41	19,91	20,34	19,78
Průměr	20,55	20,19	19,51	20,19	19,21	20,18	19,39	20,42	19,91	20,48	20,08	20,55	20,17	20,47	19,96	20,31	19,78

**Příloha 18:** Formulář terénního měření ze stanoviště Velká Dobrá, Pod Lapákem (G). Tučně jsou zvýrazněny hodnoty, ze kterých byl vypočten průměrný jas v daném směru, a kurzívou jsou zvýrazněny odlehle hodnoty jasu. Všechny hodnoty jsou uvedeny v MSA. Zpracováno autorem.

Stanoviště:				Kladno, Na Cikánce (H)													
Souřadnice:				N50.1608, E14.1078						Datum a čas měření:				27. 2. 2019, 23:30			
Podmínky měření:				bezoblačná a bezměsíčná obloha, bez sněhové pokrývky, bezvětrí													
Nadmořská výška:				372 m n. m.						Teplota vzduchu:				4 °C			
Měření	Zenit	S		SV		V		JV		J		JZ		Z		SZ	
		30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°
1.	20,26	20,19	19,68	20,00	18,92	19,92	18,67	19,89	19,02	20,04	19,46	20,11	19,72	20,14	19,93	20,15	19,78
2.	20,20	20,12	19,70	19,93	19,21	19,83	18,67	19,86	18,86	20,00	19,39	20,15	19,75	20,17	19,91	20,14	19,79
3.	20,22	20,11	19,71	19,92	18,96	19,81	18,71	19,91	18,85	20,06	19,40	20,16	19,80	20,19	19,95	20,18	19,82
4.	20,21	20,18	19,76	19,89	19,18	19,78	18,55	19,85	18,81	20,04	19,33	20,16	19,80	20,25	19,83	20,23	19,78
5.	20,23	20,18	19,64	19,97	18,86	19,80	18,52	19,87	18,91	20,11	19,45	20,21	19,88	20,23	19,87	20,25	19,72
Průměr	20,22	20,16	19,70	19,94	19,02	19,81	18,63	19,87	18,87	20,05	19,41	20,16	19,78	20,20	19,90	20,19	19,78

***Příloha 19:** Formulář terénního měření ze stanoviště Kladno, Na Cikánce (H). Tučně jsou zvýrazněny hodnoty, ze kterých byl vypočten průměrný jas v daném směru, a kurzívou jsou zvýrazněny odlehlé hodnoty jasu. Všechny hodnoty jsou uvedeny v MSA. Zpracováno autorem.*

Stanoviště:				Kladno, Sítenské údolí (K)													
Souřadnice:				N50.1392, E14.1031						Datum a čas měření:				10. 2. 2019, 0:30			
Podmínky měření:				bezoblačná a bezměsíčná obloha, zbytky sněhové pokrývky, západní vítr													
Nadmořská výška:				379 m n. m.						Teplota vzduchu:				4 °C			
Měření	Zenit	S		SV		V		JV		J		JZ		Z		SZ	
		30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°	30°	60°
1.	19,07	19,02	18,07	19,03	18,40	18,86	17,86	18,95	17,89	18,90	17,07	19,01	17,21	18,94	17,67	19,03	17,89
2.	19,06	19,09	18,22	18,98	18,35	18,88	18,09	18,84	17,68	18,96	16,66	19,09	16,81	19,00	17,61	18,97	18,08
3.	19,15	18,96	18,15	19,01	18,11	18,95	18,08	19,03	17,57	18,99	16,51	18,79	17,20	18,98	17,36	18,94	18,04
4.	19,18	18,96	18,03	19,05	17,82	19,01	18,07	18,73	17,88	18,72	17,21	18,81	16,56	18,93	17,38	18,89	17,61
5.	19,08	18,93	18,04	18,92	17,99	18,87	17,91	18,77	17,87	18,83	17,30	18,93	16,64	18,99	17,35	18,96	18,09
Průměr	19,10	18,98	18,09	19,01	18,15	18,90	18,02	18,85	17,81	18,90	16,98	18,92	16,88	18,97	17,45	18,96	18,00

**Příloha 20:** Formulář terénního měření ze stanoviště Kladno, Sítenské údolí (K). Tučně jsou zvýrazněny hodnoty, ze kterých byl vypočten průměrný jas v daném směru, a kurzívou jsou zvýrazněny odlehlé hodnoty jasu. Všechny hodnoty jsou uvedeny v MSA. Zpracováno autorem.